



**TUGAS AKHIR - TE 141599**

**PERANCANGAN SISTEM PROTEKSI PADA TAMBANG  
EMAS BANYUWANGI MENGGUNAKAN PLTMH 10 MW**

Rizky Gigih Prawira  
NRP 2212 100 112

Dosen Pembimbing  
Dr. Ir. Margo Pujiantara, M.T.  
Dimas Anton Asfani, S.T., M.T., Ph.D.

JURUSAN TEKNIK ELEKTRO  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2017



**ITS**  
Institut  
Teknologi  
Sepuluh Nopember

**FINAL PROJECT - TE 141599**

## **PROTECTION SYSTEM DESIGN AT BANYUWANGI GOLD MINE USING 10 MW MICRO HYDRO POWER PLANT**

Rizky Gigih Prawira  
NRP 2212 100 112

### **Advisors**

Dr. Ir. Margo Pujiantara, M.T.  
Dimas Anton Asfani, S.T., M.T., Ph.D.

DEPARTMENT OF ELECTRICAL ENGINEERING  
Faculty of Industrial Technology  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2017

## **PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR**

Dengan ini saya menyatakan bahwa isi sebagian maupun keseluruhan Tugas Akhir saya dengan judul “**Perancangan Sistem Proteksi pada Tambang Emas Banyuwangi Menggunakan PLTMH 10 MW**” adalah benar-benar hasil karya intelektual mandiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan-bahan yang tidak diijinkan dan bukan karya pihak lain yang saya akui sebagai karya sendiri.

Semua referensi yang dikutip maupun dirujuk telah ditulis secara lengkap pada daftar pustaka. Apabila ternyata pernyataan ini tidak benar, saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan yang berlaku.

Surabaya, 19 Desember 2016

**Rizky Gigih Prawira**  
NRP. 2212100112

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

**PERANCANGAN SISTEM PROTEKSI PADA TAMBANG  
EMAS BANYUWANGI MENGGUNAKAN PLTMH 10 MW**

**TUGAS AKHIR**

**Diajukan untuk Memenuhi Sebagian Peryaratan  
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
Pada**

**Bidang Teknik Sistem Tenaga  
Jurusan Teknik Elektro  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

**Menyetujui:**

**Dosen Pembimbing I**

**Dosen Pembimbing II**

**Dr. Ir. Margo Pujiatara, M.T.**  
**NIP 1966 03 18 1990 10 1 001**

**Dimas Anton A., S.T., M.T., Ph.D.**  
**NIP 1981 09 05 2005 01 1 002**



# **PERANCANGAN SISTEM PROTEKSI PADA PEMBANGKIT TAMBANG EMAS BANYUWANGI MENGUNAKAN PLTMH 10MW**

**Nama : Rizky Gigih Prawira**  
**Pembimbing I : Dr. Ir. Margo Pujiantara, MT.**  
**Pembimbing II : Dimas Anton Asfani, S.T., M.T., Ph.D.**

## **ABSTRAK**

Short circuit merupakan salah satu penyebab utama gangguan pada sistem kelistrikan. Berdasarkan standar IEEE 242 diperlukan suatu sistem proteksi untuk menanggulangnya. Tambang emas di Banyuwangi merupakan pabrik baru yang menggunakan sumber listrik berupa *multi generator* terdiri dari 15 pembangkit mikrohidro dengan kapasitas 10MW. Oleh karena itu, diperlukan suatu perancangan sistem proteksi yang handal dan aman pada tambang emas di Banyuwangi.

Menurut standar IEEE 242-2001 koordinasi proteksi dilakukan dengan cara analisis *short circuit*, *setting* rele arus, dan *setting LVCB*. Perancangan ini menggunakan pemodelan *single line diagram* sistem kelistrikan pada *software*. Variable yang dihitung yaitu arus *pick up* dan waktu penyalaan. Penelitian ini hanya memperhitungkan pengaman fasa. Dari hasil analisis diperoleh bahwa ada arus kontribusi yang tetap pada sistem sehingga dibutuhkan penambahan rele. Penambahan rele ini juga berguna untuk meningkatkan keakuratan lokalisasi gangguan.

**Kata kunci:** *short circuit*, koordinasi proteksi, arus kontribusi, pengaman fasa

*[Halaman ini sengaja dikosongkan]*

# PROTECTION SYSTEM DESIGN AT GOLD MINE IN BANYUWANGI USING PLTMH 10MW

**Name** : Rizky Gigih Prawira  
**Advisor I** : Dr. Ir. Margo Pujiantara, MT.  
**Advisor II** : Dimas Anton Asfani, S.T., M.T., Ph.D.

## ABSTRACT

*Short circuit is one of the main causes of disturbances in the electrical system. Based on the IEEE 242 standards, required a protection system to mitigate them. Gold mine in Banyuwangi is a new plant that uses a power source in the form of multi generator consists of 15 micro hydro power plants with 10MW capacity. Therefore, we need a reliable and safety protection system design for the gold mines in Banyuwangi.*

*According to the IEEE 242-2001 standard, protection coordination is done by short circuit analysis, current relay setting, and LVCB setting. This design uses a single line diagram modeling of the electrical system on the software. Variable that calculated are the pick-ups current and ignition timing. This study only takes into account the phase protection. The results of analysis show there is a permanent contribution current in the system so that it need additional relay. This relay is also useful to improve the accuracy of interference localization.*

**Keyword:** *short circuit, protection coordination, contribution current, phase protection*



*[Halaman ini sengaja dikosongkan]*

## KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Tuhan Yang Maha Esa atas rahmat, taufik, dan hidayah-Nya, sehingga tugas akhir ini dapat terselesaikan dengan baik. Melalui kegiatan ini, penulis dapat menyelesaikan tugas akhir yang bersifat penelitian ilmiah selama satu semester sebagai pengaplikasian ilmu yang telah didapat selama delapan semester. Buku tugas akhir ini dapat terselesaikan atas bantuan banyak pihak. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Allah SWT, ibu saya Rochayati dan kakak saya Robin Prawira Yudha dan Reza Yoga Diputra karena telah banyak memberikan dorongan, baik dalam hal spiritual maupun material dalam penyelesaian buku tugas akhir ini.
2. Bapak Margo Pujiantara dan Bapak Dimas Anton selaku dosen pembimbing yang telah banyak memberikan masukan serta arahan sehingga buku tugas akhir ini dapat diselesaikan dengan baik.
3. Annisa Mustikaning Prasanti yang selalu memotivasi saya untuk menyelesaikan tugas akhir ini.
4. Raki, Ubaidillah, Abdul Wakil, Dicky, Gusti Renaldi, Rendi Bagus, Domi Lavarro, asisten laboratorium Instrumentasi Pengukuran dan Identifikasi Sistem Tenaga, teman - teman Apathetic Official, dan teman-teman e52 yang selalu memberikan semangat dan doa serta bantuan dalam penyelesaian tugas akhir ini.

Besar harapan penulis bahwa buku tugas akhir ini dapat memberikan informasi dan manfaat bagi mahasiswa Teknik Elektro ITS pada khususnya dan seluruh pembaca pada umumnya.

Surabaya, 19 Desember 2016

Penulis

*[Halaman ini sengaja dikosongkan]*

## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	
LEMBAR PERNYATAAN	
LEMBAR PENGESAHAN	
ABSTRAK.....	i
ABSTRACT .....	iii
KATA PENGANTAR.....	v
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR GAMBAR.....	ix
DAFTAR TABEL.....	xi

### BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Permasalahan.....	1
1.3 Batasan Masalah .....	1
1.4 Tujuan Tugas Akhir .....	2
1.5 Metodologi Penelitian .....	2
1.6 Sistematika Penulisan.....	4
1.7 Relevansi.....	4

### BAB II DASAR TEORI DAN STUDI LITERATUR

2.1 Gangguan Arus Lebih .....	5
2.1.1 Hubung Singkat.....	5
2.1.2 Beban Lebih .....	8
2.2 Trafo Arus .....	9
2.3 Rele Proteksi.....	9
2.4 Rele Arus Lebih.....	9
2.4.1 Rele Arus Lebih Waktu Inverse .....	10
2.4.2 Rele Arus Lebih Waktu Instant .....	10
2.5 Koordinasi Proteksi.....	10
2.5.1 Pengaturan Arus <i>Pick Up</i> .....	10
2.5.2 <i>Time Current Characteristic</i> .....	11
2.5.3 <i>Time Dial Setting</i> .....	11

2.5.4 <i>Clearing Time Interval (CTI)</i> .....	13
 BAB III SISTEM KELISTRIKAN TAMBANG EMAS DI BANYUWANGI	
3.1 Sistem Kelistrikan Tambang Emas di Banyuwangi ....	15
3.2 Sistem Pembangkitan Tambang Emas di Banyuwangi.....	15
3.3 Sistem Distribusi Listrik Tambang Emas di Banyuwangi.....	18
3.4 Beban pada Tambang Emas di Banyuwangi.....	19
 BAB IV HASIL SIMULASI DAN ANALISIS	
4.1 Skema Koordinasi pada Tambang Emas di Banyuwangi.....	21
4.1.1 Tipikal 1 : Bus Feeder Hingga ADR Plant....	21
4.1.2 Tipikal 2 : Generator Hingga Bus Feeder ....	21
4.1.3 Tipikal 3 : Setting Rele <i>Directional</i> Blok A.	21
4.2 Analisis Arus Gangguan Hubung Singkat .....	22
4.2.1 Hubung Singkat Minimum 30 <i>cycle</i> .....	22
4.2.2 Hubung Singkat Maksimum 1/2 <i>cycle</i> .....	23
4.3 Sistem Proteksi Kondisi Eksisting .....	23
4.4 Koordinasi Rele Arus Lebih Gangguan Fasa.....	25
4.4.1 Koordinasi Rele Arus Lebih Gangguan Fasa Tipikal 1.....	25
4.4.2 Koordinasi Rele Arus Lebih Gangguan Fasa Tipikal 2.....	33
4.4.3 Koordinasi Rele Arus Lebih Gangguan Fasa Tipikal 3 Dengan Penambahan Rele <i>Directional</i> .....	40
 BAB V PENUTUP	
5.1 Kesimpulan.....	51
5.2 Saran .....	51
DAFTAR PUSTAKA.....	53
BIODATA PENULIS .....	55

## TABLE OF CONTENTS

TITLE PAGE	
STATEMENT SHEET	
VALIDATION SHEET	
ABSTRAK.....	i
ABSTRACT .....	iii
PREFACE.....	v
TABLE OF CONTENTS.....	vii
LIST OF FIGURE.....	ix
LIST OF TABLE .....	xi

### BAB I INTRODUCTION

1.1 Background .....	1
1.2 Problem .....	1
1.3 Scope of Problem.....	1
1.4 Final Project Goal .....	2
1.5 Metodology .....	2
1.6 Writing systemathic .....	4
1.7 Relevance .....	4

### BAB II BASIC THEORY AND STUDY OF LITERATURE

2.1 Over Current Interference.....	5
2.1.1 Short Circuit.....	5
2.1.2 Over Load .....	8
2.2 Current Transformator .....	9
2.3 Protection Relay.....	9
2.4 Over Current Relay.....	9
2.4.1 Inverse Over Current Relay.....	10
2.4.2 Instantenous Over Current Relay.....	10
2.5 Protection Koordination .....	10
2.5.1 <i>Pick Up Current Setting</i> .....	10
2.5.2 <i>Time Current Characteristic</i> .....	11
2.5.3 <i>Time Dial Setting</i> .....	11

2.5.4 <i>Clearing Time Interval (CTI)</i> .....	13
BAB III ELECTRICAL SYSTEM AT BANYUWANGI GOLD MINE	
3.1 Electrical System at Banyuwangi Gold Mine .....	15
3.2 Generation System at Banyuwangi Gold Mine.....	15
3.3 Electrical Distributin system at Banyuwangi Gold Mine .....	18
3.4 Load at Banyuwangi Gold Mine.....	19
BAB IV SIMULATION AND ANALYSIS RESULT	
4.1 Coordination Scheme at Banyuwangi Gold Mine.....	21
4.1.1 Typical 1 : Bus Feeder to ADR Plant .....	21
4.1.2 Typical 2 : Generator to Bus Feeder.....	21
4.1.3 Typical 3 : Rele <i>Directional</i> Blok A Setting	21
4.2 Analysis Short Circuit Current .....	22
4.2.1 Minimum Short Circuit 30 <i>cycle</i> .....	22
4.2.2 Maksimum Short Circuit 1/2 <i>cycle</i> .....	23
4.3 Existing Condition Protection system .....	23
4.4 Coordination of Phase Fault Over Current Relay .....	25
4.4.1 Coordination of Phase Fault Over Current Relay Typical 1 .....	25
4.4.2 Coordination of Phase Fault Over Current Relay Typical 2 .....	33
4.4.3 Coordination of Phase Fault Over Current Typical 3 With <i>Directional</i> Relay .....	40
BAB V CLOSING	
5.1 Conclusion.....	51
5.2 Suggestion .....	51
BIBLIOGRAPHY .....	53
CURICULUM VITAE .....	55

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1. Flow chart Metodologi .....	3
Gambar 2.1. Kurva arus gangguan hubung singkat .....	6
Gambar 2.2. Hubung singkat tiga fasa. ....	7
Gambar 2.3. Hubung singkat antar fasa .....	7
Gambar 2.4. Hubung singkat fasa ke tanah .....	8
Gambar 2.5. Skema rele proteksi.....	9
Gambar 2.6. Kurva Time Dial Setting .....	12
Gambar 3.1. Sistem kelistrikan Tambang Emas di Banyuwangi ..	17
Gambar 4.1. Ilustrasi tipikal koordinasi proteksi .....	22
Gambar 4.2. Sistem proteksi kondisi eksisting.....	24
Gambar 4.3. Waktu rele beroperasi .....	24
Gambar 4.4. Tipikal koordinasi 1. ....	25
Gambar 4.5. Hasil plot setting rele pada tipikal 1 .....	30
Gambar 4.6. Plot tipikal 1 saat gangguan di Bus LV ADR Plant .	31
Gambar 4.7. Plot tipikal 1 saat gangguan di Bus HV ADR Plant.	32
Gambar 4.8. Tipikal koordinasi 2 .....	33
Gambar 4.9. Hasil plot setting rele pada tipikal 2.....	37
Gambar 4.10. Plot tipikal 2 saat gangguan di Bus Output.....	38
Gambar 4.11. Plot tipikal 2 saat gangguan di Main Bus .....	39
Gambar 4.12. Tipikal koordinasi 3 .....	40
Gambar 4.13. Hasil plot setting rele pada tipikal 3.....	44
Gambar 4.14. Plot tipikal 3 saat gangguan di Bus Blok A. ....	45
Gambar 4.15. Plot tipikal 3 saat gangguan di Bus Gen 1 .....	46



*[Halaman ini sengaja dikosongkan]*

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Koeffesien persamaan TDS.....	12
Tabel 2.2	Koefesien persamaan TDS ALSTOM P343.....	13
Tabel 2.3	Durasi kerja relay .....	13
Tabel 3.1	Data generator Tambang Emas Banyuwangi .....	15
Tabel 3.2	Data generator Tambang Emas Banyuwangi .....	16
Tabel 3.3	Data Busbar Tambang Emas Banyuwangi .....	18
Tabel 3.4	Data Beban Tambang Emas Banyuwangi .....	20
Tabel 4.1	Data hubung singkat minimum 30 <i>cycle</i> .....	23
Tabel 4.2	Data hubung singkat maksimum 1/2 <i>cycle</i> .....	23
Tabel 4.3	Koordinasi relay saat gangguan <i>bus</i> tipikal 1 .....	33
Tabel 4.4	Koordinasi relay saat gangguan <i>bus</i> tipikal 2 .....	40
Tabel 4.5	Koordinasi relay saat gangguan <i>bus</i> tipikal 3 .....	47
Tabel 4.6	<i>Setting</i> peralatan pengaman.....	47
Tabel 4.7	<i>Setting</i> rele pengaman.....	48

*[Halaman ini sengaja dikosongkan]*

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Listrik Kontinuitas produksi, keamanan pekerja dan keamanan peralatan merupakan hal terpenting dalam suatu bidang industri. Sistem proteksi yang baik dapat menjadi solusi kelancaran aktifitas dalam industri. Sistem proteksi yang baik tidak hanya melihat dari kualitas peralatan tetapi juga pengaturan nya.

Salah satu peralatan yang digunakan pada sistem proteksi adalah *relay* arus lebih (*over current relay*). *Relay* arus lebih bekerja untuk merasakan arus yang mengalir dan mengirimkan sinyal ke *circuit breaker* guna melindungi sistem dari kemungkinan gangguan hubung singkat (*short circuit*) atau beban lebih (*overload*). Parameter pengamanan arus hubung singkat dilakukan dengan waktu yang singkat (*instantaneous time*), sementara perlindungan beban lebih dengan waktu yang relatif lebih lama. Pada *relay* arus lebih, kedua kondisi ini digabungkan kedalam suatu kurva. Kondisi pengamanan tersebut dihubungkan melalui suatu karakteristik dengan parameter yang harus diinputkan oleh manusia ke dalam *relay* berupa arus *pickup* ( $I_p$ ), *time dial setting* (TDS), serta *time delay* ( $t_d$ ). Parameter tersebut harus ditentukan dengan mempertimbangkan arus yang mengalir pada beban, koordinasi antar *relay*, serta perlindungan terhadap beban esensial.

Sistem kelistrikan di Tambang Emas Banyuwangi menggunakan desain 15 pembangkit listrik mikrohidro yang di gabungkan untuk mendapatkan daya yang dibutuhkan. Total daya yang terpasang adalah 10MW. Dengan dilakukannya penggabungan 15 pembangkit listrik mikro hidro maka diperlukan koordinasi proteksi pada sistem baru di Pembangkit Emas Banyuwangi agar didapatkan pengaman pada beban yang bersifat selektif dan akurat saat terjadi gangguan.

### 1.2 Permasalahan

Permasalahan utama yang dibahas dalam tugas akhir ini adalah bagaimana koordinasi proteksi untuk HVCB (*High Voltage CB*) dan LVCB (*Low Voltage CB*) yang terdapat pada Tambang Emas Banyuwangi ketika terjadi *short circuit*.

### 1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah yang digunakan pada tugas akhir ini meliputi :

- Pengaturan relay arus lebih fasa (50/51)
- Pengaturan relay *directional* (67)
- Penyetingan hanya dilakukan pada pengaman fasa saja. Untuk pengaman ground nya tidak dilakukan penyetingan.

### 1.4 Tujuan Tugas Akhir

Tujuan dari penulisan tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

- Memodelkan, mensimulasikan, dan menganalisis sistem kelistrikan Tambang Emas Banyuwangi
- Melakukan koordinasi proteksi pada Tambang Emas Banyuwangi
- Mendapatkan rekomendasi yang diperlukan untuk pengaturan peralatan proteksi

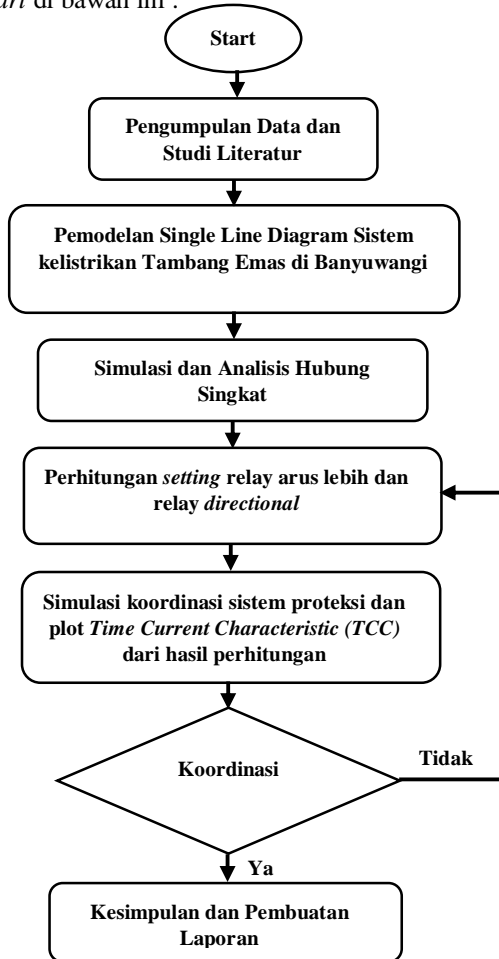
### 1.5 Metodologi Penelitian

Metodologi yang digunakan dalam penyelesaian tugas akhir ini meliputi :

- Studi Literatur  
Pengumpulan literatur-literatur yang berhubungan dengan analisis koordinasi proteksi dan materi lain mengenai sistem proteksi dan hubung singkat
- Pengumpulan Data  
Data yang digunakan merupakan data yang diperoleh dari Tambang Emas Banyuwangi
- Simulasi dan Permodelan  
Dibuat permodelan sistem kelistrikan Tambang Emas Banyuwangi dan memasukkan data rating peralatan yang ada kemudian menganalisis besar arus hubung singkat pada masing-masing peralatan.
- Analisis dan Perhitungan  
Dari hasil simulasi akan didapat data-data yang diperlukan dan kemudian dilakukan perhitungan seusaai standar[1] untuk menentukan setting relay yang tepat.
- Penarikan Kesimpulan

Setelah melakukan analisis hasil pengujian, maka ditarik suatu kesimpulan berdasarkan kondisi-kondisi yang ada. Kesimpulan ini juga diakhiri dengan saran atau rekomendasi terhadap penelitian selanjutnya

Alur metodologi penyelesaian tugas akhir ini dapat digambarkan dalam *flow chart* di bawah ini :



**Gambar 1.1** *Flow chart* Metodologi

## **1.6 Sistematika Penulisan**

Penulisan buku laporan tugas akhir ini berisi lima bab, antara lain pendahuluan, dasar teori dan studi literatur, sistem kelistrikan pembangkit tambang emas di Banyuwangi, hasil simulasi dan analisa data, dan penutup.

- Bab I (Pendahuluan)  
Bab ini berisi latar belakang, permasalahan, batasan masalah, tujuan, metodologi, sistematika penulisan, dan relevansi
- Bab II (Dasar Teori dan Studi Literature)  
Pada bab ini berisi teori-teori yang mendasari dan mendukung tugas akhir yang dikerjakan
- Bab III (Sistem Kelistrikan Tambang Emas Bayuwangi menggunakan PLTMH 10MW)  
Bab ini mengenai system kelistikan yang ada pada Tambang Emas di Banyuwangi mulai dari data pembangkit, data system distribusi, dan data beban
- Bab IV (Hasil Simulasi dan Analisa)  
Bab ini berisi hasil simulasi koordinasi proteksi, perhitungan-perhitungan, dan analisa dari hasil yang sudah didapatkan
- Bab V (Penutup)  
Bab ini berisi kesimpulan dari keseluruhan tugas akhir yang dikerjakan dan saran-saran untuk perbaikan koordinasi proteksi pada Tambang Emas Banyuwangi.

## **1.7 Relevansi**

Tugas akhir ini diharapkan dapat menjadi referensi bagi Tambang Emas Banyuwangi mengenai penyettingan koordinasi proteksi arus lebih fasa yang tepat. Tugas akhir ini diharapkan dapat menjadi referensi bagi penelitian selanjutnya.

## BAB 2

### DASAR TEORI DAN STUDI LITERATUR

Sistem proteksi pada suatu sistem kelistrikan dirancang untuk mengantisipasi dan mengatasi gangguan pada sistem tenaga listrik. Menurut IEEE Std. 242-2001 [2], fungsi utama sistem proteksi dan koordinasinya adalah membatasi durasi kejadian gangguan yang disebabkan kesalahan manusia, kegagalan peralatan, maupun fenomena alam yang tidak terhindarkan. Selain itu, fungsi lain dari sistem proteksi adalah meminimalkan kerusakan pada peralatan yang terkena imbas gangguan listrik

#### 2.1 Gangguan Arus Lebih

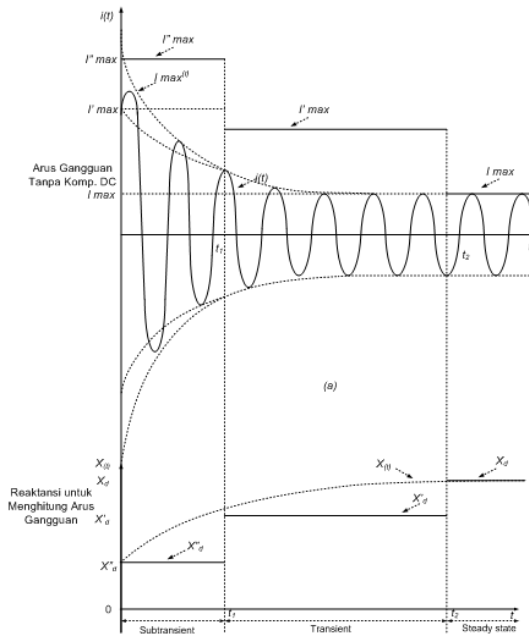
Salah satu jenis gangguan dalam sistem tenaga adalah [2] gangguan yang disebabkan oleh aliran arus berlebih. Kejadian ini disebabkan oleh dua hal yaitu hubung singkat dan daya beban yang berlebih. Daya beban berlebih umumnya disebabkan oleh peralatan yang dihubungkan dengan *rating* yang lebih besar maupun kurang tepatnya prosedur pengoperasian peralatan. Kondisi tersebut mengakibatkan bertambahnya aliran arus yang mengalir pada tegangan yang sama.

##### 2.1.1 Hubung Singkat

Hubung singkat pada umumnya disebabkan oleh kegagalan isolasi akibat panas yang berlebih (*excessive heat*), kelembaban, maupun kerusakan mekanis. Hubung singkat mungkin terjadi karena hubungan antar dua phasa, atau hubungan antar phasa ke tanah. Pada kondisi ekstrim, hubung singkat dapat mengakibatkan *arcing* dan mungkin akan membakar isolasi sehingga memperburuk kejadian.

Gangguan hubung singkat dibagi menjadi tiga periode yaitu *subtransient*, *transient*, dan *steady state*. Pada periode subtransient, nilai arus gangguan hubung singkat bernilai sangat besar yaitu empat hingga delapan kali nilai arus nominal. Pada periode transient, nilai arus gangguan hubung singkatnya lebih kecil dari nilai arus pada periode *subtransient*. Sedangkan pada periode *steady state*, nilai arus gangguan hubung singkat nya hampir sama dengan nilai arus nominal.





**Gambar 2.1** Kurva arus gangguan hubung singkat [3]

Gangguan ini digolongkan dalam dua kelompok yang pertama adalah gangguan hubung singkat tidak simetri atau asimetri. Gangguan ini adalah yang sering terjadi pada sistem kelistrikan dan contoh gangguan ini adalah gangguan hubung singkat antar fasa, satu fasa ke tanah, dan dua fasa ke tanah. Kelompok kedua adalah gangguan simetri dan contoh gangguan ini adalah gangguan hubung singkat tiga fasa

#### 1. Hubung singkat tiga fasa

Merupakan hubung singkat yang melibatkan ketiga fasa. Gangguan ini biasanya disebabkan oleh tumbangnya pohon yang mengenai ketiga penghantar fasa pada suatu jaringan. Berikut merupakan persamaan hubung singkat tiga fasa

$$I_{SC3\Phi} = \frac{V_f}{Z_I} \quad (2.1)$$

Keterangan :

$I_{sc3\Phi}$  : arus hubung singkat tiga fasa

$V_f$  : tegangan di titik gangguan sesaat sebelum terjadinya gangguan

$Z_1$  : impedansi urutan positif



**Gambar 2.2** Hubung singkat tiga fasa

## 2. Hubung singkat antar fasa

Merupakan hubung singkat yang terjadi karena bersentuhannya antara penghantar fasa satu dengan penghantar fasa yang lainnya tanpa terhubung ke tanah. Arus hubung singkat dua fasa ini mempunyai nilai yang lebih kecil daripada arus hubung singkat tiga fasa. Berikut merupakan persamaan [3] tersebut.

$$I_{sc2\Phi} = \frac{V_f}{Z_1 + Z_2} = \frac{\sqrt{3}}{2} I_{sc3\Phi} \approx 0,866 I_{sc3\Phi}. \quad (2.2)$$

Keterangan :

$I_{sc2\Phi}$  : arus hubung singkat antar fasa

$V_f$  : tegangan di titik gangguan sesaat sebelum terjadinya gangguan

(L-L)

$Z_1$  : impedansi urutan positif

$Z_2$  : impedansi urutan negatif



**Gambar 2.3** Hubung singkat antar fasa

## 3. Hubung singkat fasa ke netral

Merupakan hubung singkat yang terjadi antara salah satu fasa dengan netral. Berikut merupakan persamaan tersebut.

$$I_{SC1\Phi} = \frac{V_{LL}/\sqrt{3}}{Z_{sc} + Z_{LN}} \quad (2.3)$$

Keterangan :

$I_{SC1\Phi}$  : arus hubung singkat satu fasa ke netral

$V_{LL}$  : tegangan *line to line*

$Z_{LN}$  : impedansi netral

#### 4. Hubung singkat fasa ke tanah

Merupakan hubung singkat yang melibatkan impedansi urutan nol. Gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah ini disebabkan oleh *flashover* antara penghantar fasa dan tanah. Besar arus hubung singkat tergantung sistem pentanahan yang digunakan. Berikut merupakan persamaan tersebut.

$$I_{SC0\Phi} = \frac{3V_f}{Z_1 + Z_2 + Z_0} \quad (2.4)$$

Keterangan :

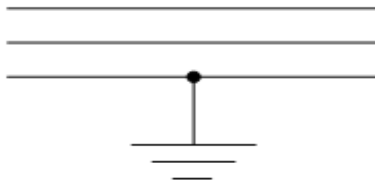
$I_{SC0\Phi}$  : arus hubung singkat satu fasa ke tanah

$V_f$  : tegangan di titik gangguan sesaat sebelum terjadinya gangguan (L<sub>N</sub>)

$Z_1$  : impedansi urutan positif

$Z_2$  : impedansi urutan negatif

$Z_0$  : impedansi urutan nol



**Gambar 2.4** Hubung singkat fasa ke tanah

### 2.1.2 Beban Lebih

Gangguan beban lebih adalah gangguan yang terjadi ketika arus yang mengalir dalam sistem melebihi arus nominal yang diizinkan ( $I > I_n$ ) dan terjadi secara kontinu yang melebihi kapasitas dari peralatan listrik dan kapasitas proteksi sehingga mengakibatkan rusaknya peralatan listrik

## 2.2 Trafo Arus

*Current Transformer* atau yang biasa dikenal sebagai CT adalah peralatan yang berfungsi mentransformasikan besaran arus listrik yang memiliki skala besar agar dapat diaplikasikan untuk pengukuran ataupun proteksi. Prinsip kerja dari CT adalah arus yang mengalir pada sistem akan ditahan oleh kumparan primer sehingga menghasilkan *fluks* pada inti. *Fluks* mengalir menuju kumparan sekunder sehingga menghasilkan tegangan yang terinduksi pada kumparan sekunder

## 2.3 Rele Proteksi

Rele proteksi adalah sebuah peralatan listrik yang dirancang untuk memenuhi pemisahan bagian sistem tenaga listrik untuk mengoperasikan sinyal alarm bila terjadi gangguan atau kondisi sistem tenaga listrik tidak normal. Berikut adalah cara kerja relay proteksi



**Gambar 2.5** Skema rele proteksi

Secara umum fungsi rele proteksi adalah sebagai berikut:

- Membunyikan alarm, menutup rangkaian trip dari pemutus rangkaian untuk membebaskan peralatan dari gangguan
- Membebaskan bagian yang bekerja tidak normal
- Membebaskan dengan segera bagian yang terganggu
- Melokalisir akibat gangguan
- Memberikan petunjuk atas lokasi serta jenis gangguan

## 2.4 Rele Arus Lebih

Merupakan salah satu jenis rele pengaman yang sering digunakan dalam proteksi sistem kelistrikan. Rele ini beroperasi ketika arus yang mengalir melebihi nilai yang ditentukan dengan memberikan sinyal kepada pemutus untuk bekerja[3].

Berdasarkan standar IEEE 242 mengenai koordinasi proteksi waktu kerja rele berkisar antara 0.3 – 0.4 detik untuk relay analog dan 0.2 – 0.4 detik untuk relay digital. Hal ini bertujuan untuk memastikan zona *backup* dapat bekerja ketika zona primer gagal dan menghindari terjadinya *trip* secara bersamaan. Rele ini melindungi hampir semua

bagian dalam sistem kelistrikan seperti jaringan distribusi dan peralatan listrik seperti transformator, generator, dan motor

#### **2.4.1 Rele Arus Lebih Waktu Inverse**

Rele ini memiliki waktu operasi yang berbanding terbalik dengan besarnya arus gangguan[4]. Jadi semakin besar arus gangguan yang terjadi maka rele akan beroperasi semakin cepat dan begitupula sebaliknya. Prinsip kerja ini juga dijelaskan dalam kurva TCC (*Time-Current Curve*) yang mana berskala *time dial*. Standar IEC 60255-3 dan IEEE std 242-2001 menjelaskan bahwa jenis perlindungan waktu invers yang dibedakan oleh gradient kurvanya adalah *standard inverse*, *very invers*, *ultra inverse*, dan *extremely inverse*. Ketika arus semakin besar akan menyebabkan waktu operasi berjalan lambat seakan mendekati waktu minimumnya.

#### **2.4.2 Rele Arus Lebih Waktu Instant**

Untuk rele jenis ini bekerja tanpa adanya penundaan waktu. Waktu tercepat bekerjanya rele ini adalah 0.1 detik atau pada umumnya kurang dari 0.08 detik. Ketika arus gangguan hubung singkat yang ditentukan terjadi, rele akan bekerja berdasarkan arus tersebut dan membuka pemutus dalam waktu yang cepat yaitu 0.08 detik. Saat ini penggunaan rele memiliki kurva *invers* dan *instan*, sehingga kurva karakteristiknya merupakan gabungan dari kurva *instan* dan *invers*.

### **2.5 Koordinasi Proteksi**

Tujuan dari koordinasi proteksi sistem kelistrikan dengan parameter arus adalah untuk menentukan karakteristik, *rating*, dan *setting* dari peralatan pengaman arus lebih yang berfungsi untuk meminimalisasi kerusakan perangkat serta melokalisasi hubung singkat sesegera mungkin. Peralatan pengaman arus lebih bekerja dengan bagian primer dan *backup*. Bagian primer merupakan barisan pertama dalam menanggulangi kerusakan akibat gangguan. Tentu saja pada bagian primer, diperlukan peralatan yang bekerja lebih cepat dan apabila gagal akan ditanggulangi oleh peralatan *backup*.

#### **2.5.1 Pengaturan Arus Pickup**

Pada peralatan proteksi, *pickup* memiliki arti nilai minimum arus yang mengalir sebelum perangkat memulai tindakan. Dengan kata lain,

logika berpikir yang digunakan dalam peralatan (dalam hal ini relay arus lebih) adalah sebagai berikut:

- Jika  $IF \geq IP$ , maka relay mengirimkan sinyal *trip*
- Jika  $IF < IP$ , maka relay tidak melakukan apa-apa (IF adalah arus gangguan dan IP adalah arus *pickup*)

Menurut British Standard BS 142, batas dalam menentukan arus *pickup* pada relay sebagai pelindung dari beban lebih adalah:

$$1,05 \text{ FLA} < IP < 1,4 \text{ FLA} \quad (2.5)$$

Sementara untuk batas penentuan arus *pickup* pada relay sebagai pelindung kejadian hubung singkat adalah:

$$1,6 \text{ FLA} < IP < 0,8 \text{ ISC MIN} \quad (2.6)$$

Dimana FLA adalah *Full Load Ampere* yang berarti arus yang mengalir pada beban sesuai daya maksimum dan ISC MIN adalah arus hubung singkat minimum (ISC 2Ø) dalam durasi *steady state* (30 cycle).

### 2.5.2 Time Current Characteristic

Suatu kurva TCC (*Time Current Characteristic*) mendefinisikan waktu operasi dan nilai arus operasi pada suatu peralatan proteksi. Kurva TCC digunakan sebagai panduan perancang dalam membuat suatu skema koordinasi proteksi. Kerangka pemikiran yang diperlukan adalah menentukan apakah antar kurva pada TCC boleh bersinggungan atau tidak, sesuai dengan kebutuhan koordinasi.

### 2.5.3 Time Dial Setting

Relay arus lebih pada umumnya digambarkan dalam suatu kurva satu garis. Pada relay *inverse* (Kode ANSI 51) terdapat beberapa tipe kurva yang membantu dalam melakukan koordinasi. Tipe kurva ini ditentukan berdasarkan persamaan berikut [2] (IEC Standard)

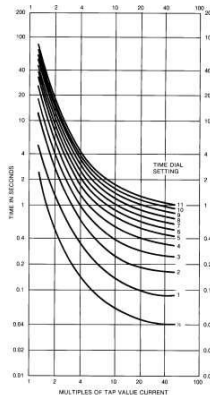
$$t_{op} = \frac{k \times TDS}{\left( \left( \frac{I}{I_p} \right)^{0.02} - 1 \right) \times \beta} \quad (2.7)$$

Dimana  $t_{op}$  adalah waktu operasi relay, TDS adalah *Time Dial Setting*,  $I$  adalah arus pada keadaan  $t_{op}$  dan  $IP$  adalah arus *pickup* untuk perlindungan beban lebih pada relay. Persamaan tersebut juga disusun dengan beberapa koefisien yang dilampirkan sebagai berikut [5]:

**Tabel 2.1** Koefisien persamaan TDS

Tipe Kurva	$k$	$\alpha$	$\beta$
Long Time Inverse	120	1	13.33
Standart Inverse	0.14	0.02	2.97
Very Inverse	13.5	1	1.5
Extreamly Inverse	80	2	0.808
Ultra Inverse	315.2	2.5	1

Pengaruh penentuan TDS akan mempengaruhi waktu operasi relay, nilai TDS yang semakin besar akan memperlama waktu operasi relay dan semakin kecil akan mempercepat waktu operasi relay. Pengaruh TDS dapat digambarkan sebagai berikut:



pada umumnya sama dengan satu maka hasil perhitungan kedua persamaan ini akan bernilai sama. Persamaan tersebut disusun dari beberapa koefesien yang dilampirkan sebagai berikut

**Tabel 2.2** Koefesien persamaan TDS ALSTOM P343

<b>Tipe Kurva</b>	<b><math>k</math></b>	<b><math>\alpha</math></b>	<b>L</b>
Long Time Inverse	120	1	0
Standart Inverse	0.14	0.02	0
Very Inverse	13.5	1	0
Extreamly Inverse	80	2	0

#### 2.5.4 Clearing Time Interval (CTI)

Salah satu pertimbangan dalam melakukan koordinasi relay arus lebih selain menentukan gradasi arus *pickup* adalah penentuan waktu kerja relay. Tanpa adanya interval antar relay, peralatan pengaman mungkin bekerja secara tidak tepat dan dapat memutus aliran daya ke lokasi yang tidak mengalami gangguan. Pada kurva arus dan waktu (TCC), selain memperhatikan koordinasi dengan tidak mentolerir adanya kurva relay yang berpotongan, perlu diperhatikan juga durasi tunggu antar relay. Dengan peralatan yang modern, durasi tunggu antar relay dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti cara kerja relay, *overtravel* relay, dan toleransi error. Secara ringkas, batasan CTI dapat ditinjau sebagai berikut:

**Tabel 2.3** Durasi kerja relay [5]

Kerja Relay	Tipe Relay	
	Electromechanical	Static
<i>Circuit breaker opening time</i>	0,08 s	0,08 s
<i>Relay overtravel</i>	0,10 s	0,00 s
<i>Relay tolerance and setting errors</i>	0,12 s	0,12 s
Total CTI	0,30 s	0,20 s



*[Halaman ini sengaja dikosongkan]*

### **BAB III**

## **SISTEM KELISTRIKAN TAMBANG EMAS BANYUWANGI**

### **3.1. Sistem Kelistrikan Tambang Emas di Banyuwangi**

Tambang Emas Banyuwangi mempunyai pembangkit listrik sendiri untuk memenuhi kebutuhan listriknya. Terdapat lima belas pembangkit listrik yang berupa Pembangkit Mikrohidro pada unit operasi ini. Sistem distribusi yang digunakan adalah sistem distribusi radial dengan tegangan kerja yang digunakan adalah 0,4 kV. Sistem distribusi ini digunakan untuk menyalurkan daya bagi beban – beban yang ada seperti motor, kompresor, pompa, beban statis, dan *lump load*.

### **3.2. Sistem Pembangkitan Tambang Emas di Banyuwangi**

Pembangkit Tamban Emas Banyuwangi mempunyai lima belas pembangkit listrik. Dengan jumlah pembangkit yang banyak dan beban yang memiliki total daya setengah dari total daya pembangkit maka jika salah satu pembangkit mengalami *shut down* akibat terkena gangguan atau sedang mengalami proses pemeliharaan (*maintenance*), beban dapat di bagi ke pembangkit lainnya. Sehingga proses produksi pada unit operasi ini bisa berjalan dengan baik. Pembangkit listrik yang digunakan adalah pembangkit Mikrohidro. Perusahaan menggunakan generator jenis karena memanfaatkan kondisi lingkungan sekitar yang mendukung untuk digunakannya pembangkit Mikrohidro. Umur dari generator ini juga cukup panjang yaitu sekitar 10 tahun. Data dari generator – generator yang ada pada Tambang Emas Banyuwangi dapat dilihat pada Tabel 3.1 dan Tabel 3.2.

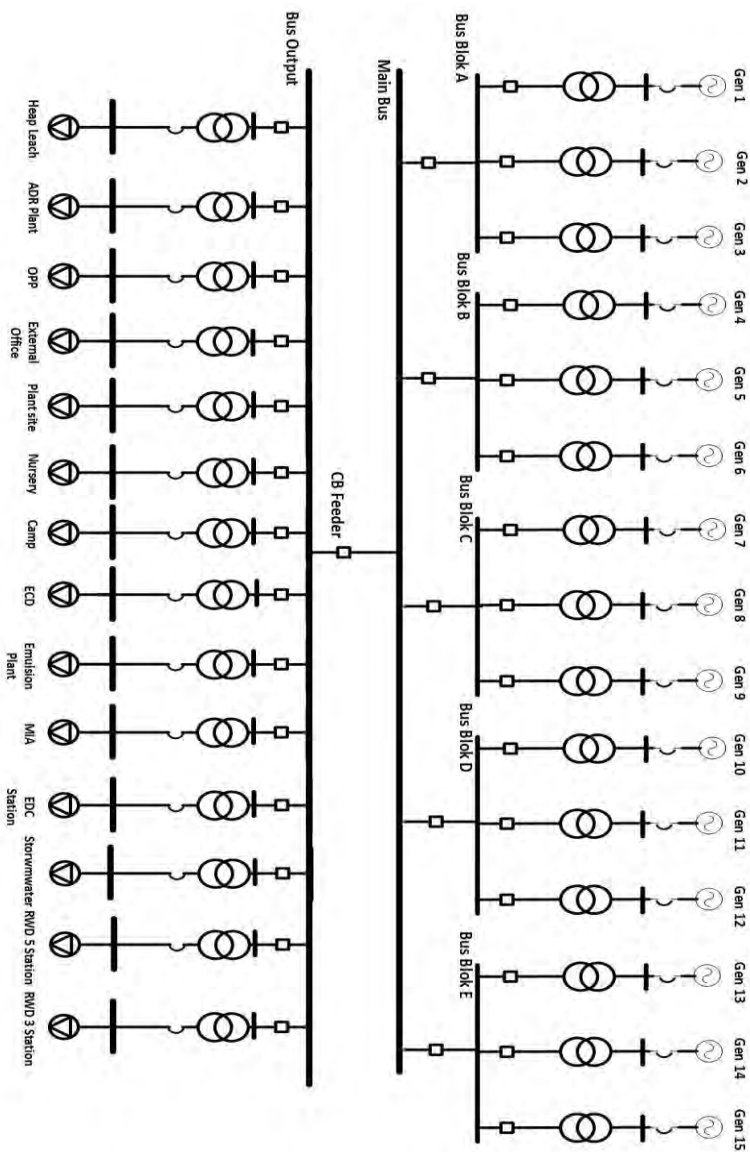
**Tabel 3.1** Data generator Tambang Emas Banyuwangi

<b>No.</b>	<b>ID</b>	<b>kW</b>	<b>kVA</b>	<b>kV</b>
1	Gen 1	800	941	0,4
2	Gen 2	800	941	0,4
3	Gen 3	800	941	0,4
4	Gen 4	800	941	0,4
5	Gen 5	800	941	0,4
6	Gen 6	800	941	0,4

<b>No.</b>	<b>ID</b>	<b>kW</b>	<b>kVA</b>	<b>kV</b>
7	Gen 7	800	941	0,4
8	Gen 8	800	941	0,4
9	Gen 9	800	941	0,4
10	Gen 10	800	941	0,4
11	Gen 11	800	941	0,4
12	Gen 12	800	941	0,4
13	Gen 13	800	941	0,4
14	Gen 14	800	941	0,4
15	Gen 15	800	941	0,4

**Tabel 3.2** Data Generator Tambang Emas Banyuwangi

<b>No.</b>	<b>ID</b>	<b>PF</b>	<b>Eff</b>	<b>RPM</b>	<b>FLA(A)</b>
1	Gen 1	0.85	95	1500	1358
2	Gen 2	0.85	95	1500	1358
3	Gen 3	0.85	95	1500	1358
4	Gen 4	0.85	95	1500	1358
5	Gen 5	0.85	95	1500	1358
6	Gen 6	0.85	95	1500	1358
7	Gen 7	0.85	95	1500	1358
8	Gen 8	0.85	95	1500	1358
9	Gen 9	0.85	95	1500	1358
10	Gen 10	0.85	95	1500	1358
11	Gen 11	0.85	95	1500	1358
12	Gen 12	0.85	95	1500	1358
13	Gen 13	0.85	95	1500	1358
14	Gen 14	0.85	95	1500	1358
15	Gen 15	0.85	95	1500	1358



**Gambar 3.1** Sistem kelistrikan Tambang Emas di Banyuwangi

### 3.3. Sistem Distribusi Listrik Tambang Emas di Banyuwangi

Sistem distribusi adalah peralatan – peralatan listrik yang bekerja secara bersama – sama untuk menyalurkan tenaga listrik dari sumber listrik menuju ke beban. Sistem distribusi yang digunakan Tambang Emas Banyuwangi adalah sistem distribusi radial [6]. Sistem distribusi ini merupakan sistem distribusi yang biasa digunakan oleh banyak perusahaan karena mempunyai banyak kelebihan. Kelebihan dari sistem distribusi radial adalah biaya investasi relatif murah, bentuknya sederhana, arus gangguan yang muncul relatif kecil, pengamanan gangguan cenderung lebih mudah, dll.

Sistem distribusi ini bekerja pada tegangan rendah yaitu 0,4 kV. Data dari bus – bus pada sistem kelistrikan Tambang Emas Banyuwangi dapat dilihat pada Tabel 3.3.

**Tabel 3.3** Data Busbar Tambang Emas Banyuwangi

No.	Busbar	Tegangan (kV)
1	Bus-O1	0,4
2	Bus-O2	0,4
3	Bus-O3	0,4
4	Bus-O4	0,4
5	Bus-O5	0,4
6	Bus-O6	0,4
7	Bus-O7	0,4
8	Bus-O8	0,4
9	Bus-O9	0,4
10	Bus-O10	0,4
11	Bus-O11	0,4
12	Bus-O12	0,4
13	Bus-O13	0,4
14	Bus-O14	0,4
15	Bus Output	20
16	Bus-T1	0,4
17	Bus-T2	0,4

No.	Busbar	Tegangan (kV)
18	Bus-T3	0,4
19	Bus-T4	0,4
20	Bus-T5	0,4
21	Bus-T6	0,4
22	Bus-T7	0,4
23	Bus-T8	0,4
24	Bus-T9	0,4
25	Bus-T10	0,4
26	Bus-T11	0,4
27	Bus-T12	0,4
28	Bus-T13	0,4
29	Bus-T14	0,4
30	Bus-T15	0,4
31	Bus 1	20
32	Bus 2	20
33	Bus 3	20
34	Bus 4	20
35	Bus 5	20
36	Main Bus	20

Penggunaan tegangan rendah pada saluran distribusi membuat tingkat keamanan menjadi lebih besar dan operator menjadi lebih aman dalam melakukan pengecekan peralatan, pemeliharaan rutin, penanggulangan gangguan, dll. Selain itu, peralatan pengaman tegangan rendah juga tidak semahal peralatan pengaman bagi tegangan tinggi.

### **3.4. Beban pada Tambang Emas Banyuwangi**

Tambang Emas Banyuwangi mempunyai beberapa beban dengan daya yang cukup besar. Beban – beban yang ada pada unit operasi tersebut meliputi motor, pompa, kompresor, beban statis, dan *lump load*. Data dari beban yang ada pada Tambang Emas Banyuwangi dapat dilihat pada Tabel 3.4.

**Tabel 3.4** Data Beban Tambang Emas Banyuwangi

No.	ID Beban	Daya (kVA)	Tegangan (kV)
1	Heap Leach	1275	0,4
2	ADR Plant	1720	0,4
3	OPP	1603	0,4
4	External Office	76	0,4
5	Plant Site	241	0,4
6	Nursery	70	0,4
7	Camp	325	0,4
8	ECD	159	0,4
9	Emulsion Plant	176	0,4
10	MIA	332	0,4
11	EDC Station	125	0,4
12	Storwmwater	85	0,4
13	RWD 5 Station	110	0,4
14	RWD 3 Station	94	0,4

## **BAB 4**

### **HASIL SIMULASI DAN ANALISIS PERANCANGAN SISTEM PROTEKSI TAMBANG EMAS BANYUWANGI**

Perancangan sistem proteksi pada Tambang Emas Banyuwangi dilakukan dengan pemodelan *single line diagram* sistem kelistrikannya. Langkah awal pembuatan *single line diagram* tersebut adalah pengumpulan data yang meliputi data kabel, transformator, generator, bus, relay *eksisting* dan sistem pentanahan.

Dari pembuatan *single line diagram* tersebut dapat diketahui sistem kelistrikan *eksisting*. Setelah pemodelan selesai, dilakukan studi hubung singkat untuk mengetahui nilai arus yang mengalir pada sistem dan selanjutnya dilakukan perhitungan koordinasi proteksi.

#### **4.1 Skema Koordinasi pada Tambang Emas di Banyuwangi**

Untuk mempermudah dalam *setting* koordinasi relay, maka dipilih tipikal yang mewakili koordinasi pada sistem kelistrikan Tambang Emas Banyuwangi. Berikut merupakan tipikal koordinasi yang ditampilkan dalam tugas akhir ini, antara lain:

##### **4.1.1 Tipikal 1 : Bus Feeder Hingga ADR Plant**

Koordinasi relay arus lebih fasa (50/51) mulai beban ADR Plant 0.4kV hingga Main Bus. Relay yang dikoordinasikan adalah LVCB ADR Plant, relay HVCB ADR Plant, dan relay CB Feeder. Pemilihan tipikal ini berdasarkan koordinasi relay dari beban terbesar langsung menuju ke Main Bus .

##### **4.1.2 Tipikal 2 : Generator Hingga Bus Feeder**

Koordinasi relay arus lebih fasa (50/51) mulai Bus Output 20kV hingga relay primer Trafo Gen 1. Relay yang dikoordinasikan adalah relay CB Feeder, relay F Blok A, Relay F HVCB Gen 1, dan relay LVCB Gen 1. Pemilihan tipikal ini berdasarkan koordinasi relay dari Bus Output langsung ke Gen 1.

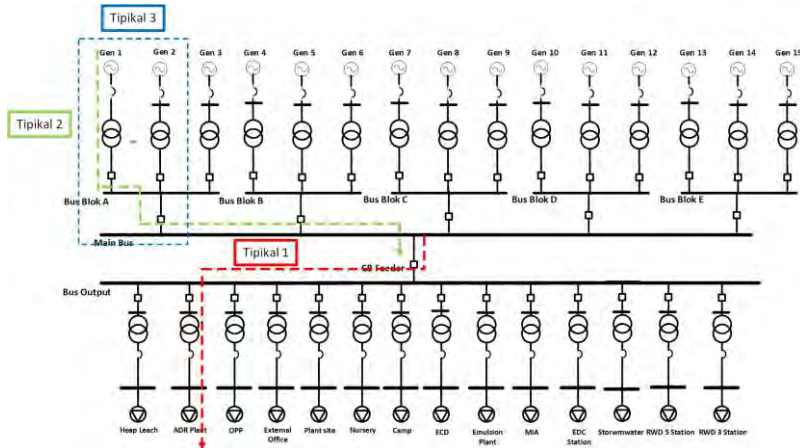
##### **4.1.3 Tipikal 3 : Setting Relay Directional Blok A**

Koordinasi relay Directional (67) mulai Main Bus hingga LVCB Gen Blok A dan Blok B. Relay yang dikoordinasikan adalah relay F Blok A, relay R Blok A, relay F Blok B, relay R Blok B, relay F HVCB Gen 1,



relay R HVCB Gen 1, relay LVCB Gen 1, relay F HVCB Gen 2, relay R HVCB Gen 2, relay LVCB Gen 2. Pemilihan tipikal ini berdasarkan koordinasi relay directional untuk mengamankan arus distribusi.

Secara umum, tipikal koordinasi proteksi yang dibahas dalam tugas akhir ini dapat diilustrasikan melalui Gambar 4.1 berikut ini.



**Gambar 4.1** Ilustrasi tipikal koordinasi proteksi

## 4.2 Analisis Arus Gangguan Hubung Singkat

Dilakukan analisis hubung singkat (*short circuit*) sebagai dasar untuk menentukan *setting* relay arus lebih [7]. Dalam analisis arus hubung singkat ini, terdapat dua parameter yang digunakan yaitu arus hubung singkat maksimum dan arus hubung singkat minimum. Arus hubung singkat maksimum terjadi saat adanya hubung singkat pada ketiga fasa pada saluran. Sedangkan, arus hubung singkat minimum terjadi saat adanya hubung singkat antar fasa pada saluran

### 4.2.1 Hubung Singkat Minimum 30 cycle

Hubung singkat minimum ini digunakan sebagai batasan *pickup* (*setting*) relay arus lebih instan [2]. Sehingga diharapkan apabila ada gangguan hubung singkat pada arus gangguan minimum, relay tersebut dapat bekerja dengan instan (*definite time*) atau sesuai dengan *time delay*

yang telah ditentukan. Hasil dari simulasi hubung singkat minimum 30 *cycle* dilampirkan pada Tabel 4.1 di bawah ini.

**Tabel 4.1** Data hubung singkat minimum 30 *cycle*

No	Bus	Tegangan (kV)	Isc Min (kA)
1	BusLV ADR Plant	0.4	23.94
2	BusHV ADR Plant	20	1.32
3	Bus Output	20	1.32
4	Main Bus	20	1.32
5	Bus Blok A	20	1.32
6	Bus Gen A	0.4	20.77

#### 4.2.2 Hubung Singkat Maksimum 1/2 *cycle*

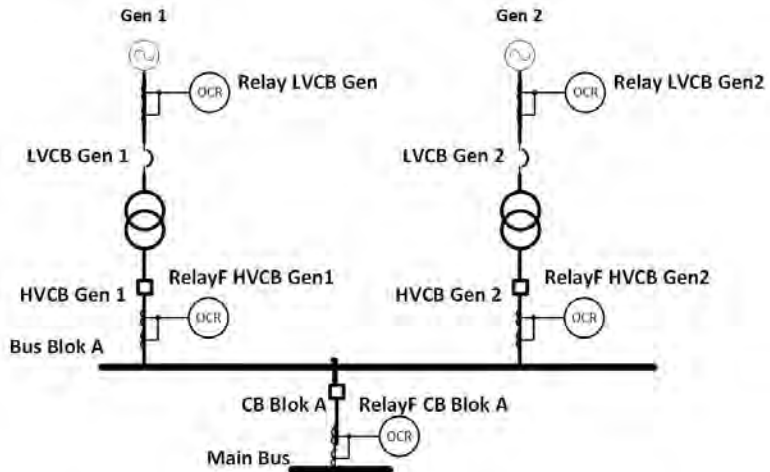
Hubung singkat maksimum 1/2 *cycle* digunakan untuk *setting* waktu delay, hubung singkat ini digunakan apabila terdapat relay yang memiliki perbedaan tegangan. Hasil dari simulasi hubung singkat maksimum 1/2 *cycle*, dilampirkan pada Tabel 4.2 di bawah ini.

**Tabel 4.2** Data hubung singkat maksimum 1/2 *cycle*, 4 *cycle*, dan 30 *cycle*

No	Bus	Tegangan (kV)	Isc Max (kA)
1	BusLV ADR Plant	0.4	31,73
2	BusHV ADR Plant	20	2,25
3	Bus Output	20	1,79
4	Main Bus	20	0,638
5	Bus Blok A	20	2,06
6	Bus Gen 1	0.4	27.48

#### 4.3 Sistem Proteksi Kondisi Eksisting

Pada kondisi eksisting, apabila terjadi gangguan pada Bus Blok dan Bus Gen maka seluruh genrator harus padam. Hal ini dikarenakan adanya arus kontribusi dari generator yang lain. Hal ini akan membuat penyaluran daya menuju beban terhenti sehingga pabrik akan berhenti beroperasi. Selain itu kerugian yang didapat akibat adanya arus kontribusi ini adalah generator yang terjadi gangguan akan mengalami *reverse power* yang dapat merusak generator itu sendiri.



**Gambar 4.2** Sistem proteksi kondisi eksisting

3-Phase (Symmetrical) fault on bus: Bus Blok A

Data Rev.: Base      Config: Normal      Date: 14-12-2016

Time (s)	ID	If (kA)	T1 (ms)	T2 (ms)	Condition
500	Relay HVCB Gen1	0.086	500		Phase - OC1 - 50 - Forward
500	Relay HVCB Gen2	0.086	500		Phase - OC1 - 50 - Forward
500	Relay HVCB Gen3	0.086	500		Phase - OC1 - 50 - Forward
500	Relay HVCB Gen4	0.086	500		Phase - OC1 - 50 - Forward
500	Relay HVCB Gen5	0.086	500		Phase - OC1 - 50 - Forward
500	Relay HVCB Gen6	0.086	500		Phase - OC1 - 50 - Forward
510	HVCB Gen1		10.0		Tripped by Relay HVCB Gen1 Phase - ...
510	HVCB Gen2		10.0		Tripped by Relay HVCB Gen2 Phase - ...
510	HVCB Gen3		10.0		Tripped by Relay HVCB Gen3 Phase - ...
510	HVCB Gen4		10.0		Tripped by Relay HVCB Gen4 Phase - ...
510	HVCB Gen5		10.0		Tripped by Relay HVCB Gen5 Phase - ...
510	HVCB Gen6		10.0		Tripped by Relay HVCB Gen6 Phase - ...
700	Relay LVCB Gen1	4.287	700		Phase - OC1 - 50
700	Relay LVCB Gen2	4.287	700		Phase - OC1 - 50
700	Relay LVCB Gen3	4.287	700		Phase - OC1 - 50
700	Relay LVCB Gen4	4.287	700		Phase - OC1 - 50
700	Relay LVCB Gen5	4.287	700		Phase - OC1 - 50

**Gambar 4.3** Waktu rele beroperasi

Untuk meningkatkan keakuratan lokalisasi gangguan maka dapat dilakukan dengan cara penambahan relay *directional* (67) pada relay sisi sekunder trafo tegangan 20 kV dan pada rele Blok. Dengan penambahan relay *directional* ini maka jika ada gangguan di salah satu

#### 4.4 Koordinasi Relay Arus Lebih Gangguan Fasa

Pada sistem koordinasi ini dilakukan pengaturan *setting* arus dan waktu pada relay arus lebih (50/51). Parameter yang dihitung adalah nilai *low set*, *high set*, dan *time dial*. Sedangkan untuk *time delay* dipilih *grading time* 0,2s – 0,4s antara relay utama dengan relay *back up* dengan harapan relay-relay tidak bekerja secara bersamaan saat terjadi gangguan.

#### 4.4.1 Koordinasi Relay Arus Lebih Gangguan Fasa Tipikal 1

The diagram illustrates a typical distribution system hierarchy. It starts with a 'Main Bus' at the top, which connects to a 'Bus Output' via a 'CB Feeder' and an 'OGR' (Overhead Grounding Regulator). The 'Bus Output' then connects to a 'Bus HV ADR Plant' via an 'HVCB ADR Plant' and another 'OGR'. This is followed by a 'Trafo ADR Plant' (transformer) and an 'LVCB ADR Plant' (Low Voltage Circuit Breaker). Finally, the system connects to a 'Bus LV ADR Plant' and an 'ADR Plant' (Automatic Demand Response Plant).

Dalam penentuan setting arus dan waktu relay arus lebih, dilakukan perhitungan secara manual, sebagai berikut:

- **LVCB ADR Plant**

*Manufacturer* : Westinghouse  
*Model* : DB-75 (LS 5-10x)  
 FLA ADR Plant : 1986,4 A  
 Isc min BusLV ADR Plant: 23,94 kA (0.4 kV)  
 Isc max BusLV ADR Plant : 31,73 kA (0.4 kV)

- **Time Overcurrent Pickup**

$1,05 \times \text{FLA ADR Plant} < \text{Iset} < 1,4 \times \text{FLA ADR Plant}$   
 $1,05 \times 1986,4 < \text{Iset} < 1,4 \times 1986,4$   
 $2085,72 < \text{Iset} < 2780,96$   
 Dipilih Iset = 2600 A

$$\text{Tap} = \frac{\text{Iset}}{\text{CT}_{\text{primary}}} = \frac{2600}{2000} = 1,3$$

- **Time Dial**

Dipilih waktu operasi ( $t_d$ ) = 20 s

- **Instantaneous Pickup**

$1,6 \times \text{FLA ADR Plant} < \text{Iset} < 0,8 \times \text{Isc min BusLV ADR Plant}$   
 $1,6 \times 1986,4 < \text{Iset} < 0,8 \times 23940$   
 $3178,24 < \text{Iset} < 19152$   
 Dipilih Iset = 10000 A

$$\text{Tap} = \frac{\text{Iset}}{\text{CT}_{\text{primary}}} = \frac{10000}{2000} = 5$$

- **Time Delay**

Dengan frekuensi 50 Hz, maka satu cycle = 0,02 sekon  
 Maka, dipilih setting TDS sebesar 30 cycles = 0,5 sekon

- **Relay HVCB ADR Plant**

*Manufacturer* : ALSTOM  
*Model* : P343  
*Curve Type* : *Standard Inverse*  
 FLA primer Trafo ADR Plant : 46,19 A  
 Inrush Trafo ADR Plant : 461,9 A

<i>CT Ratio</i>	: 80 / 5
Isc min Bus HV	: 1,32 kA (20 kV)
Isc max Bus HV	: 2,25 kA (20 kV)

- Time Overcurrent Pickup

$$1,05 \times FLA < I_{set} < 1,4 \times FLA$$

$$1,05 \times 46,19 < I_{set} < 1,4 \times 46,19$$

$$48,49 < I_{set} < 64,66$$

Dipilih  $I_{set} = 50,4 \text{ A}$

$$\text{Tap} = \frac{I_{set}}{CT_{primary}} = \frac{50,4}{80} = 0,63$$

- Time Dial

Dipilih waktu operasi ( $t_d$ ) = 0,2 s

$$t_d = \frac{K \times TDS}{\beta \times \left[ \left( \frac{I}{I_{set}} \right)^\alpha - 1 \right]}$$

sesuai dengan *datasheet* [4] relay ALSTOM P343

$$t_d = TDS \times \left[ \frac{K}{\left[ \left( \frac{I}{I_{set}} \right)^\alpha - 1 \right]} + L \right]$$

$$TDS = \frac{t_d \times \left[ \left( \frac{I_{fault}}{I_{set}} \right)^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$$

$$TDS = \frac{0,5 \times \left[ \left( \frac{542}{50,4} \right)^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$$

$$TDS = 0,173$$

Maka, dipilih setting TDS sebesar 0,175

- Instantaneous Pickup

$$1,6 \times \text{FLA} < I_{\text{set}} < 0,8 \times \text{Isc min Bus}$$

$$1,6 \times 46,19 < I_{\text{set}} < 0,8 \times 1320$$

$$73,9 < I_{\text{set}} < 1056$$

Dipilih  $I_{\text{set}} = 800 \text{ A}$

$$\text{Tap} = \frac{I_{\text{set}}}{\text{CT}_{\text{primary}}} = \frac{800}{80} = 10$$

- Time Delay

$$\text{Isc Max}_2 \times \frac{kV_2^2}{kV_1} < I_{\text{set}} < 0,8 \text{ Isc min}_1$$

$$31,73 \times \frac{0,4}{20} < I_{\text{set}} < 0,8 \times 1320$$

$$0,63 < I_{\text{set}} < 1056$$

Karena memenuhi syarat tersebut, maka dipilih *time delay* = 0,1s

• **Relay CB Feeder**

*Manufacturer* : ALSTOM

*Model* : P343

*Curve Type* : *Standard Inverse*

FLA total beban : 243,664 A

*CT Ratio* : 300 / 5

Isc min Bus Output : 1,32 kA (20 kV)

Isc max BusOutput : 1,79 kA (20 kV)

- Time Overcurrent Pickup

$$1,05 \times \text{FLA total beban} < I_{\text{set}} < 1,4 \times \text{FLA total beban}$$

$$1,05 \times 243,664 < I_{\text{set}} < 1,4 \times 243,664$$

$$255,84 < I_{\text{set}} < 341,13$$

Dipilih  $I_{\text{set}} = 261 \text{ A}$

$$\text{Tap} = \frac{I_{\text{set}}}{\text{CT}_{\text{primary}}} = \frac{261}{300} = 0,87$$

- Time Dial

Dipilih waktu operasi ( $t_d$ ) = 0,7 s

$$t_d = TDS \times \left[ \frac{K}{\left[ \left( \frac{I}{I_{set}} \right)^\alpha - 1 \right]} + L \right]$$

$$TDS = \frac{t_d \times \left[ \left( \frac{I_{fault}}{I_{set}} \right)^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$$

$$TDS = \frac{0,7 \times \left[ \left( \frac{542}{261} \right)^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$$

$$TDS = 0,073$$

Maka, dipilih setting TDS sebesar 0,075

- Instantaneous Pickup

$$1,6 \times FLA < I_{set} < 0,8 \times I_{sc} \text{ min Bus Output}$$

$$389,86 < I_{set} < 1056$$

Dipilih  $I_{set} = 900 \text{ A}$

$$\text{Tap} = \frac{I_{set}}{CT_{primary}} = \frac{900}{300} = 0,87$$

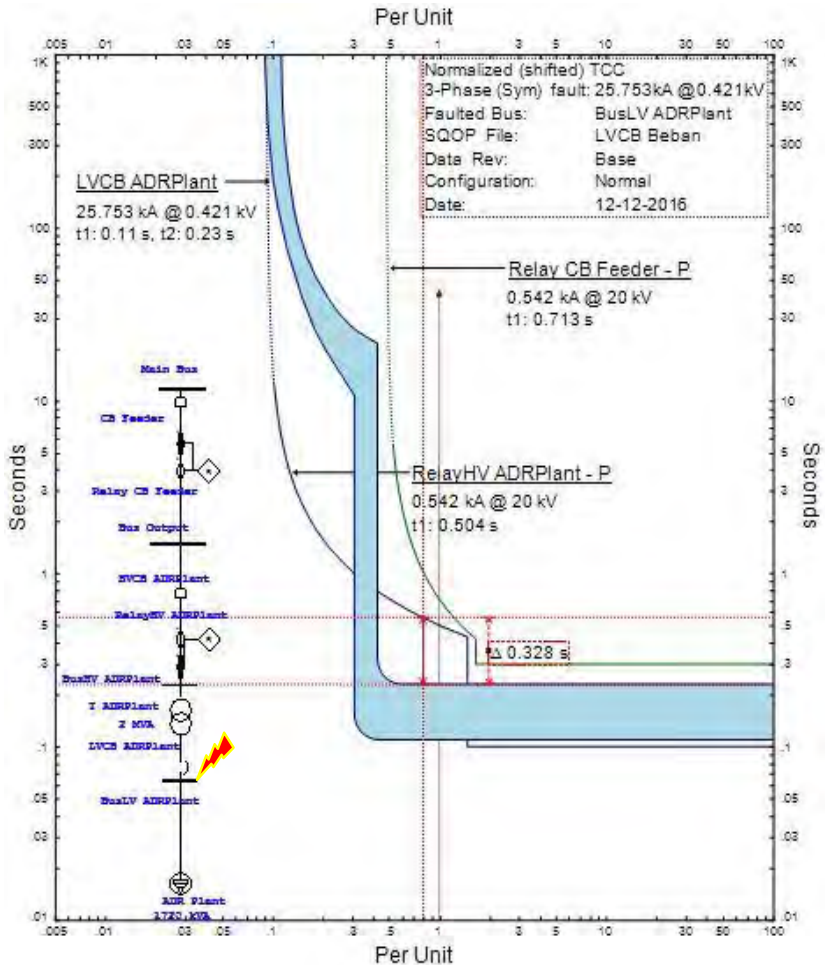
- Time Delay

Dipilih *time delay* = 0,3s

Berdasarkan hasil perhitungan di atas maka dilakukan plot *Time Current Characteristic* (TCC) untuk mendapatkan koordinasi proteksi yang lebih tepat untuk tipikal 1. Hasil plot TCC tipikal 1 ditunjukkan pada Gambar 4.5 berikut





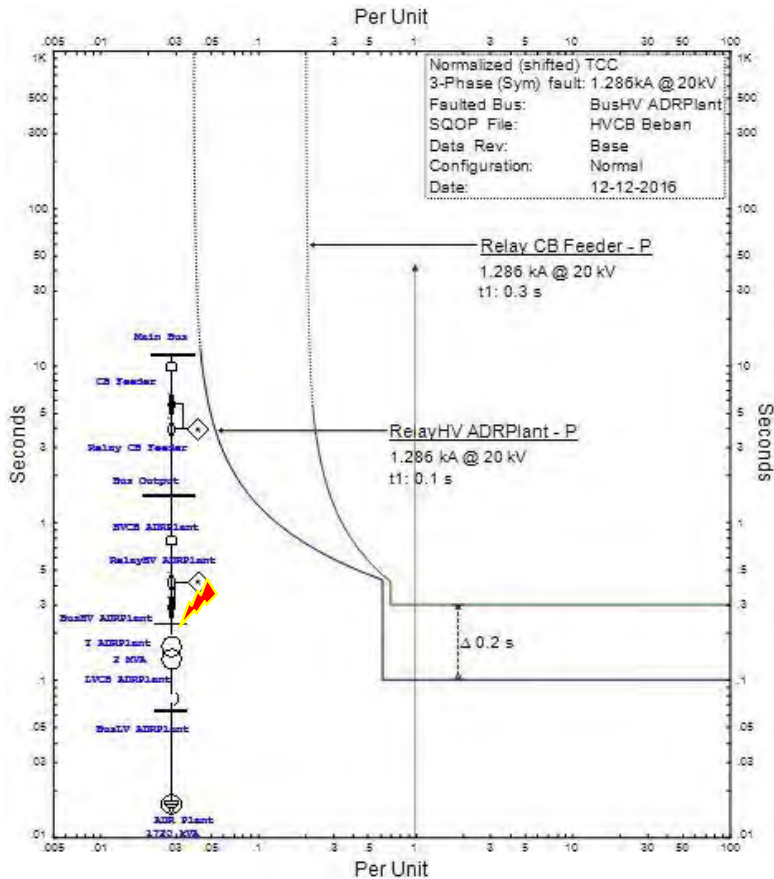


**Gambar 4.6** Plot tipikal 1 saat gangguan di Bus LV ADR Plant

Berdasarkan hasil *plot* pada Gambar di atas, dapat disimpulkan bahwa:

- LVCB ADR Plant berfungsi sebagai penganman gangguan yang terjadi pada Bus LV ADR Plant dan *backup* saat terjadi gangguan pada salah satu peralatan yang berada di dalam *lumped load*.

- HVCB ADR Plant berkerja bersamaan dengan LVCB ADR Plant karena tidak ada beban lain diantara kedua *circuit breaker*.



**Gambar 4.7** Plot tipikal 1 saat gangguan di Bus HV ADR Plant

Berdasarkan hasil *plot* pada Gambar di atas, dapat disimpulkan bahwa:

- Relay HVCB ADR Plant berfungsi sebagai pelindung trafo ADR Plant pada sisi primer terhadap arus lebih beban penuh dan arus lebih hubung singkat yang terjadi pada Bus HV ADR Plant.

Apabila terjadi arus hubung singkat maksimum pada *bus* HV ADR Palnt, maka relay ini tetap bekerja terlebih dahulu.

- Relay CB Feeder berfungsi sebagai *backup* relay HVCB ADR Plant apabila gagal bekerja.

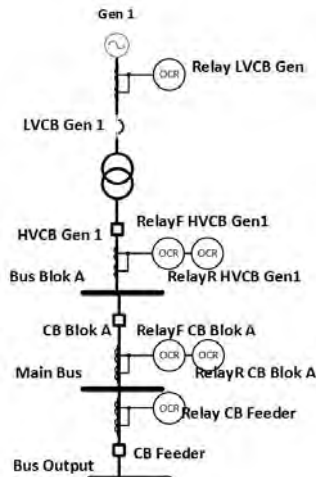
Untuk lebih memperjelas koordinasi relay pengaman yang bekerja, Tabel 4.3 menunjukkan urutan kerja relay saat *bus-bus* pada tipikal 1 diberi gangguan hubung singkat minimum.

**Tabel 4.3** Koordinasi relay saat gangguan di *bus* tipikal 1

<i>Bus Fault</i>	Relay yang bekerja					
	Utama	Arus (kA)	Waktu (s)	Backup	Arus (kA)	Waktu (s)
Bus LV ADR Plant	LVCB ADR Plant	25,75	0,5	Relay CB Feeder	0,542	0,713
Bus HV ADR Plant	Relay HVCB ADR Plant	1,286	0,1	Relay CB Feeder	1,286	0,3

#### 4.4.2 Koordinasi Relay Arus Lebih Gangguan Fasa Tipikal 2

Tipikal 2 terdiri dari 4 *High Voltage Circuit Breaker* yang digerakkan menggunakan relay. Relay yang dikoordinasikan antara lain Relay CB Feeder, relay CB F Blok A, relay F HVCB Gen1, dan Relay LVCB Gen 1



**Gambar 4.8** Tipikal koordinasi 2

Dalam penentuan setting arus dan waktu relay arus lebih, dilakukan perhitungan secara manual, sebagai berikut:

• **Relay F CB Blok A**

<i>Manufacturer</i>	: ALSTOM
<i>Model</i>	: P343 <i>Directional Forward</i>
<i>Curve Type</i>	: <i>Standard Inverse</i>
FLA Blok A	: 65,184 A
<i>CT Ratio</i>	: 100 / 5
Isc min Main Bus	: 0,264 kA (20 kV)
Isc max Main Bus	: 0,359 kA (20 kV)

- *Time Overcurrent Pickup*

$$1,05 \times \text{FLA Blok A} < \text{Iset} < 1,4 \times \text{FLA Blok A}$$

$$1,05 \times 65,18 < \text{Iset} < 1,4 \times 65,18$$

$$68,44 < \text{Iset} < 91,25$$

Dipilih Iset = 69 A

$$\text{Tap} = \frac{\text{Iset}}{\text{CT}_{\text{primary}}} = \frac{69}{100} = 0,69$$

- *Time Dial*

Dipilih waktu operasi ( $t_d$ ) = 0,3 s

$$t_d = \text{TDS} \times \left[ \frac{K}{\left[ \left( \frac{I}{\text{Iset}} \right)^\alpha - 1 \right]} + L \right]$$

$$\text{TDS} = \frac{t_d \times \left[ \left( \frac{I_{\text{fault}}}{\text{Iset}} \right)^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$$

$$\text{TDS} = \frac{1,1 \times \left[ \left( \frac{108}{69} \right)^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$$

$$\text{TDS} = 0,07$$

Dipilih setting TDS sebesar 0,075

- Instantaneous Pickup

$$1,6 \times FLA < I_{set} < 0,8 \times I_{sc \text{ min Main Bus}}$$

$$104,29 < I_{set} < 211$$

Dipilih  $I_{set} = 110 \text{ A}$

$$\text{Tap} = \frac{I_{set}}{CT_{primary}} = \frac{110}{100} = 1,1$$

- Time Delay

Dipilih  $time \text{ delay} = 0,3s$

• **Relay F HVCB Gen 1**

*Manufacturer* : ALSTOM

*Model* : P343

*Curve Type* : *Standard Inverse*

*FLA Blok A* : 21,728 A

*CT Ratio* : 40 / 5

*Isc min Bus Blok A* : 0,088 kA (20 kV)

*Isc max Bus Blok A* : 0,12 kA (20 kV)

- Time Overcurrent Pickup

$$1,05 \times FLA \text{ Gen 1} < I_{set} < 1,4 \times FLA \text{ Gen 1}$$

$$1,05 \times 21,728 < I_{set} < 1,4 \times 21,728$$

$$22,814 < I_{set} < 30,419$$

Dipilih  $I_{set} = 23,2 \text{ A}$

$$\text{Tap} = \frac{I_{set}}{CT_{primary}} = \frac{23,2}{40} = 0,58$$

- Time Dial

Dipilih waktu operasi ( $t_d$ ) = 0,3 s

$$t_d = TDS \times \left[ \frac{K}{\left[ \left( \frac{I}{I_{set}} \right)^\alpha - 1 \right]} + L \right]$$

$$TDS = \frac{t_d \times \left[ \left( \frac{I_{fault}}{I_{set}} \right)^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$$

$$TDS = \frac{1,5 \times \left[ \left( \frac{36}{23,2} \right)^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$$

$$TDS = 0,095$$

Dipilih setting TDS sebesar 0,1

- Instantaneous Pickup

$$1,6 \times FLA < I_{set} < 0,8 \times I_{sc} \text{ min Bus Blok A}$$

$$34,76 < I_{set} < 70,4$$

Dipilih  $I_{set} = 70A$

$$\text{Tap} = \frac{I_{set}}{CT_{primary}} = \frac{70}{40} = 1,75$$

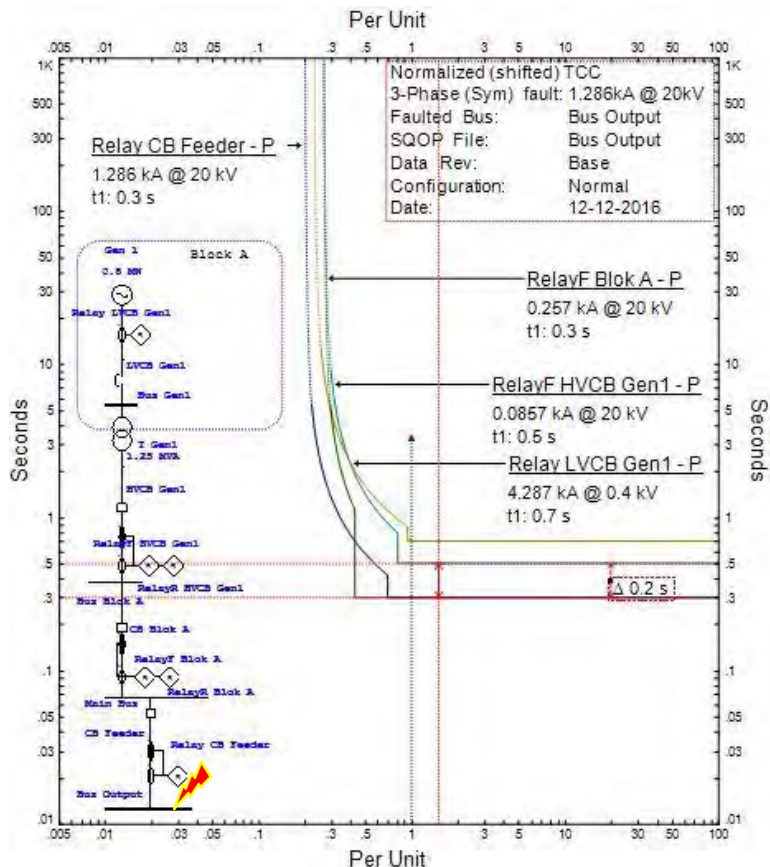
- Time Delay

Dipilih *time delay* = 0,5s

Berdasarkan hasil perhitungan di atas maka dilakukan plot *Time Current Characteristic* (TCC) untuk mendapatkan koordinasi proteksi yang lebih tepat untuk tipikal 2. Hasil plot TCC tipikal 2 ditunjukkan pada Gambar 4.9 berikut.



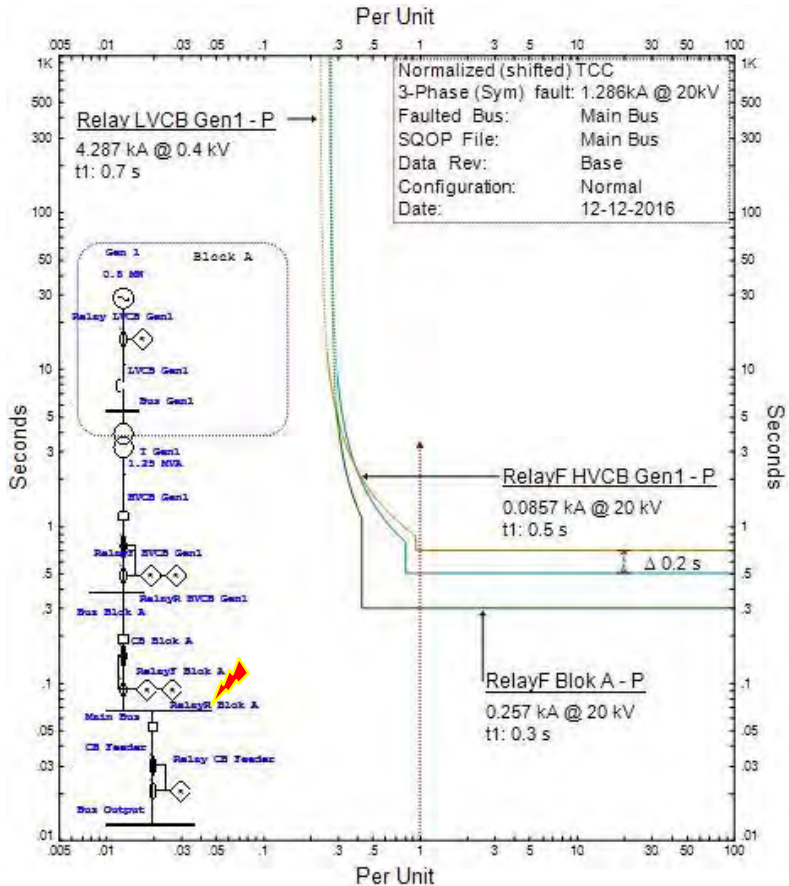




**Gambar 4.10** Plot tipikal 2 saat gangguan di Bus Output

Berdasarkan hasil *plot* pada Gambar di atas, dapat disimpulkan bahwa:

- Relay CB Feeder berfungsi sebagai pelindung Bus Output terhadap arus lebih beban penuh dan arus lebih hubung singkat yang terjadi pada Bus tersebut.
- RelayF Blok A memiliki posisi yang sama terhadap relay CB Feeder sehingga saat ada gangguan di Bus Output, CB Blok A akan trip bersamaan dengan CB Feeder.



**Gambar 4.11** Plot tipikal 2 saat gangguan di Main Bus

Berdasarkan hasil *plot* pada Gambar di atas, dapat disimpulkan bahwa:

- RelayF Blok A berfungsi sebagai pengaman pertama saat Main Bus mengalami gangguan.
- RelayF HVCB Gen 1 menjadi backup dari RelayF Blok A saat Main Bus mengalami gangguan

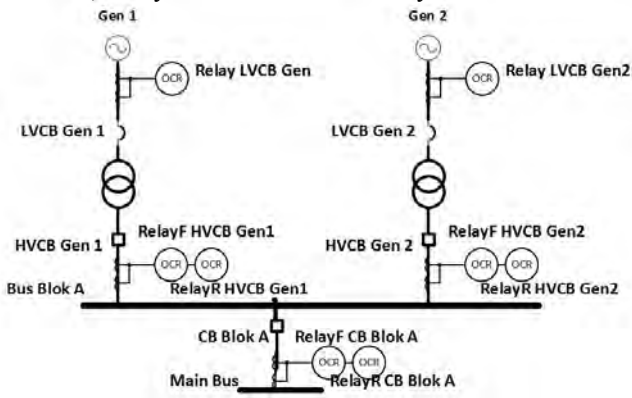
Untuk lebih memperjelas koordinasi relay pengaman yang bekerja, Tabel 4.4 menunjukkan urutan kerja relay saat bus-bus pada tipikal 2 diberi gangguan hubung singkat minimum.

**Tabel 4.4** Koordinasi relay saat gangguan di bus tipikal 2

Bus Fault	Relay yang bekerja					
	Utama	Arus (kA)	Waktu (s)	Backup	Arus (kA)	Waktu (s)
Bus Output	Relay CB Feeder	1,286	0,3	Relay HVCB Gen	0,086	0,5
Main Bus	RelayF CB Blok	0,257	0,3	Relay HVCB Gen	0,086	0,5

### 4.4.3 Koordinasi Relay Arus Lebih Gangguan Fasa Tipikal 3 Dengan Penambahan Relay Directional

Tipikal 3 terdiri dari 4 *High Voltage Circuit Breaker* yang digerakkan menggunakan relay directional dan 2 *Low Voltage Circuit Breaker* yang digerakkan menggunakan relay . Relay yang dikoordinasikan antara lain relayR Blok A, relayR HVCB Gen1, relayR HVCB Gen 2, Relay LVCB Gen 1 dan Relay LVCB Gen 2



**Gambar 4.12** Tipikal koordinasi 3

- RelayR Blok A**  
 Manufacturer : ALSTOM  
 Model : P343 Directional Relay  
 Curve Type : Standard Inverse

FLA	: 260,736 A
CT Ratio	: 100 / 5
Isc min Bus Blok A	: 1,06 kA (20 kV)
Isc max Bus Blok A	: 2,06 kA (20 kV)

- Time Overcurrent Pickup

$$1,05 \times \text{FLA} < \text{Iset} < 1,4 \times \text{FLA}$$

$$1,05 \times 260,736 < \text{Iset} < 1,4 \times 260,736$$

$$273,77 < \text{Iset} < 365,03$$

Dipilih Iset = 275 A

$$\text{Tap} = \frac{\text{Iset}}{\text{CT primary}} = \frac{275}{100} = 2,75$$

- Time Dial

Dipilih waktu operasi ( $t_d$ ) = 0,3 s

$$t_d = \text{TDS} \times \left[ \frac{K}{\left[ \left( \frac{I}{\text{Iset}} \right)^\alpha - 1 \right]} + L \right]$$

$$\text{TDS} = \frac{t_d \times \left[ \left( \frac{I_{\text{fault}}}{\text{Iset}} \right)^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$$

$$\text{TDS} = \frac{0,3 \times \left[ \left( \frac{1029}{275} \right)^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$$

$$\text{TDS} = 0,015$$

Maka, dipilih setting TDS di atas satu tingkat yaitu sebesar 0,025

- Instantaneous Pickup

$$1,6 \times \text{FLA} < \text{Iset} < 0,8 \times \text{Isc min Bus}$$

$$1,6 \times 260,736 < \text{Iset} < 0,8 \times 1060$$

$$417,17 < \text{Iset} < 848$$

Dipilih Iset = 452 A

$$\text{Tap} = \frac{\text{Iset}}{\text{CT}_{\text{primary}}} = \frac{452}{100} = 4,52$$

dipilih *time delay* = 0,1s

- **RelayR HVCB Gen 1**

<i>Manufacturer</i>	: ALSTOM
<i>Model</i>	: P343 Directional Relay
<i>Curve Type</i>	: <i>Instantaneous</i>
FLA	: 21,728 A
<i>CT Ratio</i>	: 40 / 5
Isc min Bus Blok A	: 0,48 kA (20 kV)
Isc max Bus Blok A	: 0.55 kA (20 kV)

- *Instantaneous Pickup*

$$1,6 \times \text{FLA} < \text{Iset} < 0,8 \times \text{Isc min Bus}$$

$$1,6 \times 21,728 < \text{Iset} < 0,8 \times 480$$

$$34.76 < \text{Iset} < 384$$

Dipilih Iset = 380 A

$$\text{Tap} = \frac{\text{Iset}}{\text{CT}_{\text{primary}}} = \frac{380}{40} = 9,5$$

dipilih *time delay* = 0,1s

- **Relay LVCB Gen 1**

<i>Manufacturer</i>	: ALSTOM
<i>Model</i>	: P343
<i>Curve Type</i>	: <i>Standard Inverse</i>
FLA Gen 1	: 1086,4 A
<i>CT Ratio</i>	: 1000 / 5
Isc min Bus Gen1	: 20,776 kA (0,4 kV)
Isc max Bus Gen 1	: 27,48 kA (0,4 kV)

- *Time Overcurrent Pickup*

$$1,05 \times \text{FLA Blok A} < \text{Iset} < 1,4 \times \text{FLA Blok A}$$

$$1,05 \times 1086,4 < \text{Iset} < 1,4 \times 1086,4$$

$$1140,72 < \text{Iset} < 1520,96$$

Dipilih Iset = 1000 A

$$\text{Tap} = \frac{\text{Iset}}{\text{CT}_{\text{primary}}} = \frac{1000}{1000} = 1$$

- Time Dial

Dipilih waktu operasi ( $t_d$ ) = 0,3 s

$$t_d = \text{TDS} \times \left[ \frac{K}{\left[ \left( \frac{I}{\text{Iset}} \right)^\alpha - 1 \right]} + L \right]$$

$$\text{TDS} = \frac{t_d \times \left[ \left( \frac{I_{\text{fault}}}{\text{Iset}} \right)^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$$

$$\text{TDS} = \frac{1,7 \times \left[ \left( \frac{1807}{1000} \right)^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$$

$$\text{TDS} = 0,175$$

Maka, dipilih setting TDS sebesar 0,175

- Instantaneous Pickup

$$1,6 \times \text{FLA} < \text{Iset} < 0,8 \times \text{Isc min Bus Gen 1}$$

$$1738,24 < \text{Iset} < 21984$$

Dipilih Iset = 4060 A

$$\text{Tap} = \frac{\text{Iset}}{\text{CT}_{\text{primary}}} = \frac{4060}{1000} = 4,06$$

- Time Delay

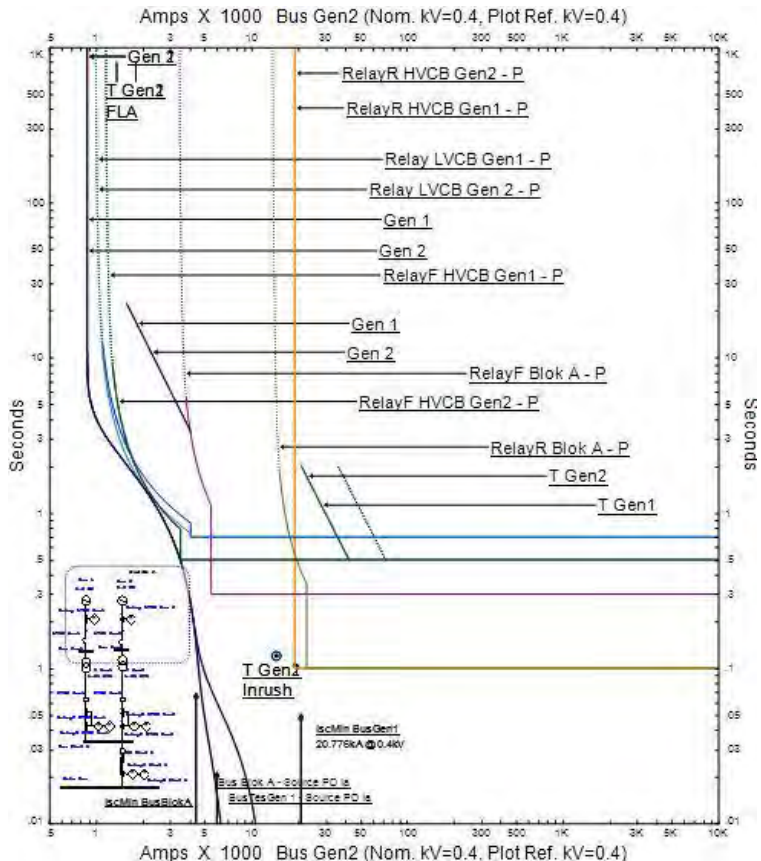
$$\text{Isc Max}_2 \times \frac{kV_2^2}{kV_1} < \text{Iset} < 0,8 \text{ Isc min}_1$$

$$2,29 \times \frac{20}{0,4} < \text{Iset} < 0,8 \times 20,77$$

$$114,5 < \text{Iset} < 16,6$$

Karena tidak memenuhi syarat tersebut maka dipilih  $time\ delay = 0,5s$

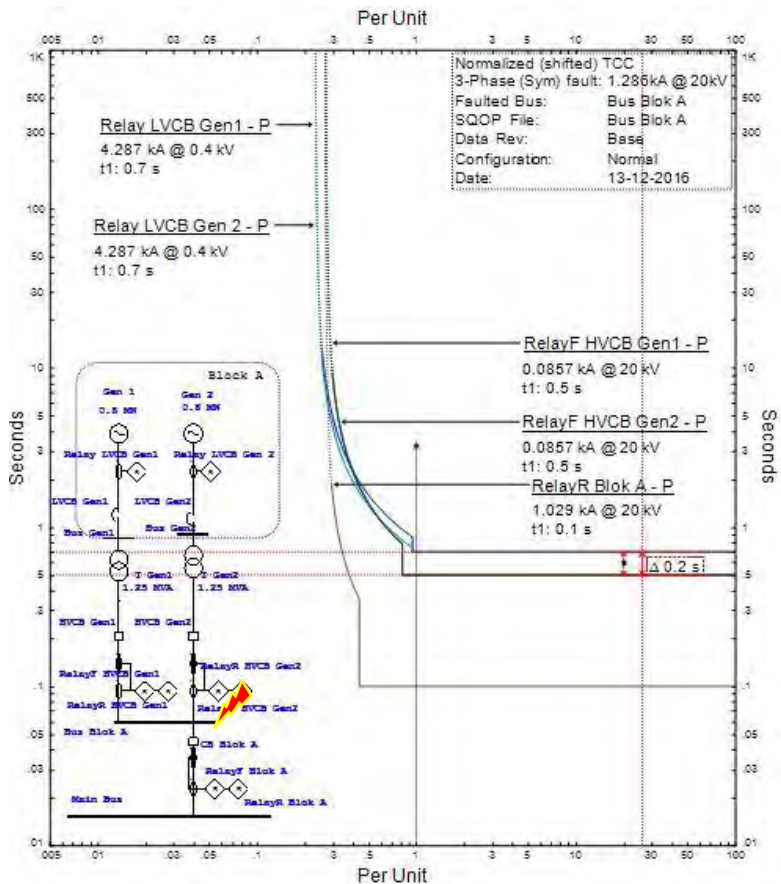
Berdasarkan hasil perhitungan di atas maka dilakukan plot TCC untuk mendapatkan koordinasi proteksi yang lebih tepat. Hasil plot TCC tipikal 3 ditunjukkan pada Gambar 4.13 berikut.



**Gambar 4.13** Hasil *plot* setting rele pada tipikal 3

Selanjutnya, untuk memperlihatkan bahwa setting koordinasi proteksi yang telah dilakukan sudah tepat, maka ditampilkan pula gambar kurva *Normalized TCC*. Berikut Gambar 4.14 merupakan hasil simulasi

gangguan pada Bus Blok A dan Gambar 4.15 saat terjadi gangguan di Bus Gen A



**Gambar 4.14** Plot tipikal 3 saat gangguan di Bus Blok A

Berdasarkan hasil *plot* pada Gambar di atas, dapat disimpulkan bahwa:

- RelayR Blok A bekerja secara *reverse* sehingga akan bekerja jika ada arus yang mengarah ke arah generator. Relay ini juga berfungsi untuk melokalisir gangguan apabila terjadi hubung singkat pada bus Blok A.





- RelayR HVCB Gen1 bekerja secara *reverse* sehingga akan bekerja jika ada arus yang mengarah ke generator. RelayR HVCB Gen 1 berfungsi untuk melokalisir apabila ada gangguan pada bus gen 1 dan sebagai pengaman generator dari arus reverse yang dapat mengakibatkan generator bekerja menjadi motor.
- Relay LVCB Gen 1 berfungsi sebagai pengaman generator dari gangguan arus lebih berupa hubung singkat dan beban lebih

Untuk lebih memperjelas koordinasi relay pengaman yang bekerja, Tabel 4.5 menunjukkan urutan kerja relay saat *bus-bus* pada tipikal 3 diberi gangguan hubung singkat minimum.

**Tabel 4.5** Koordinasi relay saat gangguan di *bus* tipikal 3

<i>Bus Fault</i>	Relay yang bekerja					
	Utama	Arus (kA)	Waktu (s)	Backup	Arus (kA)	Waktu (s)
Bus Blok A	RelayR Blok	1,029	0,1	Relay LVCB Gen	4,287	0,7
	RelayF HVCB Gen	0,086	0,5			
Bus Gen 1	RelayR HVCB Gen1	0,453	0,3	RelayR Blok	0,388	0,5
	LVCB Gen1	4,849	0,5			

Untuk mempermudah *setting* peralatan pengaman yang bekerja, Tabel 4.6 dan Tabel 4.7 menunjukkan nilai parameter *seting* peralatan pada tipikal 1, tipikal 2, dan tipikal 3.

**Tabel 4.6** *Setting* peralatan pengaman

Peralatan	<i>Overcurrent</i>			<i>Instantaneous</i>	
	Time Kurva	Pickup	Time Dial	Pickup	Delay (sec)
LVCB ADR PLant	-	1,3	-	5	30 cycle
Relay HVCB ADR Plant	Standart Inverse	0,63	0,175	10	0,1
Relay CB Penghubung	Standart Inverse	0,87	0,075	3	0,3
RelayF CB Blok	Standart Inverse	0,69	0,075	1,1	0,3
RelayR CB Blok	Standart Inverse	2,75	0,025	4,52	0,1

<b>Peralatan</b>	<b><i>Overcurrent</i></b>	<b><i>Instantaneous</i></b>	<b>Peralatan</b>	<b><i>Overcurrent</i></b>	<b><i>Instantaneous</i></b>
	<b>Tipe Kurva</b>	<b>Pickup</b>		<b>Tipe Kurva</b>	<b>Pickup</b>
RelayF HVCB Gen	Standart Inverse	0,58	0,125	1,75	0,5
RelayR HVCB Gen	-	-	-	9,5	0,1
Relay LVCB	Standart Inverse	1	0,175	4,06	0,5

**Tabel 4.7** *Setting rele pengaman*

<b>Nama</b>	<b>Rating</b>	
	<b>Primer</b>	<b>Sekunder</b>
CT HVCB ADR Plant	80	5
CT CB Feeder	300	5
CT CB Blok	100	5
CT HVCB Gen	40	5

*[Halaman ini sengaja dikosongkan]*

## PENUTUP

### 5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil studi dan analisis koordinasi proteksi arus lebih fasa pada Tambang Emas Banyuwangi, maka diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Penggunaan *multi generator* akan menimbulkan arus kontribusi yang tetap pada setiap bus jika ada gangguan di salah satu generator. Hal ini dapat menyebabkan generator yang tidak terjadi gangguan juga harus padam
2. Keakuratan lokalisasi gangguan dapat dilakukan dengan cara penambahan relay *directional* pada relay sisi sekunder trafo tegangan 20kV dan relay CB Blok. Sehingga saat terjadi gangguan dapat di lokalisasi dan generator lain masih bisa tetap beroperasi.
3. Pada kondisi eksisting Bus Output dan Main Bus memiliki fungsi yang sama karena tidak ada beban lain yang terhubung pada Main Bus. Sehingga apabila terjadi gangguan pada Bus Output, CB Feeder dan CB Blok akan bekerja dalam waktu yang bersamaan. Hal ini akan menyebabkan penyaluran daya ke beban terhenti.
4. Rekomendasi *setting* relay dan trafo arus dapat dilihat pada Tabel 4.6 dan Tabel 4.7

### 5.2 Saran

Berdasarkan analisis yang telah dilakukan dan juga kesimpulan yang didapatkan dari tugas akhir ini, terdapat beberapa saran yang dapat menjadi masukan agar sistem dapat berjalan lebih baik di masa mendatang. Beberapa saran yang diberikan sebagai berikut :

1. Pada HVCB Gen dan CB Blok perlu di pasang relay differential dengan arah *reverse* untuk meningkatkan keakuratan lokalisasi gangguan seperti yang sudah disimulasikan pada tugas akhir ini.
2. Untuk pengembangan kedepan disarankan melakukan pengubahan pada Bus Output . Dilakukan pembagian beban menjadi dua bus dan mengubah bentuk bus menjadi Tie Bus. Hal ini untuk meningkatkan keandalan sistem.
3. *Setting* relay yang terdapat pada tugas akhir ini, dapat dijadikan pertimbangan dan referensi untuk melakukan *setting* yang sebenarnya.

*[Halaman ini sengaja dikosongkan]*

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] IEEE Standard C37. “*IEEE Standard Inverse-Time Characteristic Equation for Overcurrent Relays*”. Power System Relaying Committee of The IEEE Power Engineering Society, 1997
- [2] IEEE Standard 242, “*Protection and Coordination of Industrial and Comercial Power System*”, Institut of Electrical and Elenctronics Engineers, 2001
- [3] Cahier Technique No. 158. “*Calculation of Short Circuit Currents*”, Sheneider Electric, 2005
- [4] Technical Data Sheet, “*MiCOM P342, P343, P344, P345 & P391: Generator Protection Relay*”, Areva Industries.
- [5] Wahyudi, “*Diktat Kuliah Pengaman Sistem Tenaga Listrik*”, Teknik Elektro ITS, Surabaya, Bab1, 2014
- [6] Laboratorium Instrumentasi Pengukuran dan Identifikasi Sistem Tenaga, “*Modul Pelatihan Koordinasi Pengaman*” Teknik Elektro ITS, Surabaya, 2014
- [7] Jones, Ray. A, “*Safety BASICS Handbook for Electrical Safety Edition 2*”, Cooper Bussman, Inc., USA, 2004
- [8] Keller, Kimberley, “*Electrical Code Safety Manual*”, Elsevier, Inc., USA, Ch. 7, 2010.

*Halaman ini sengaja dikosongkan*



## BIODATA PENULIS



Penulis dilahirkan di Semarang pada tanggal 13 Juli 1994 dengan nama lengkap Rizky Gigih Prawira, dari orang tua Sumarno dan Rochayati. menjalani masa kecilnya di Semarang dan menjalani perkuliahan di Surabaya. Penulis menamatkan pendidikan dasar di SDI Hidayatullah Semarang (tahun 2006), pendidikan menengah di SMPN 21 Semarang (tahun 2009) dan SMAN 3 Semarang (tahun 2012). Saat ini penulis berusia 22 tahun dan sedang menempuh studi tingkat strata 1 di Jurusan Teknik Elektro, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Penulis mengambil bidang studi Teknik Sistem Tenaga sebagai fokus studinya. Selama kuliah penulis aktif dalam berbagai kegiatan akademis maupun non akademis. Penulis bergabung dengan ITS TV sebagai kru pada tahun 2013 . menjadi Ketua ARTWORK Himpunan Mahasiswa Elektro, menjadi wakil ketua ITS TV periode 2014 – 2015. Saat ini penulis dapat dihubungi melalui email: rizkygigih13@gmail.com.

*Halaman ini sengaja dikosongkan*